

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

**MARIANA SARMANHO DE OLIVEIRA LIMA**

A aplicabilidade do gás natural do ponto de vista  
mercadológico, econômico e ambiental: um estudo para os  
Estados do Amazonas e de São Paulo.

São Carlos  
2011

MARIANA SARMANHO DE OLIVEIRA LIMA

A aplicabilidade do gás natural do ponto de vista  
mercadológico, econômico e ambiental: um estudo para os  
Estados do Amazonas e de São Paulo.

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São  
Carlos da Universidade de São Paulo, como parte  
dos requisitos para a obtenção do título de  
Doutora em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Economia e Finanças  
Corporativas

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Associada Daisy A. do N.  
Rebelatto

São Carlos  
2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Lima, Mariana Sarmanho de Oliveira  
L732a A aplicabilidade do gás natural do ponto de vista mercadológico, econômico e ambiental: um estudo para os Estados do Amazonas e de São Paulo / Mariana Sarmanho de Oliveira Lima ; orientador Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto. — São Carlos, 2011.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Área de Concentração em Economia e Finanças Corporativas -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

1. Gás natural. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Indústrias paulistas. 4. Indústrias amazonenses. 5. Técnica do incidente crítico. 6. Análise conjunta. 7. Análise por envoltória de dados. I. Título.

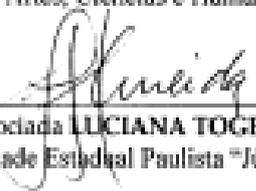
**FOLHA DE JULGAMENTO**

Candidato(a): Engenheiro MARIANA SARMANHO DE OLIVEIRA LIMA.

Tese defendida e julgada em 08.06.2011 perante a Comissão Julgadora:

  
 \_\_\_\_\_ Aprovada  
 Prof. Associada DAISY APARECIDA DO NASCIMENTO REBELATTO – (Orientadora)  
 (Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

  
 \_\_\_\_\_ Aprovada  
 Prof. Dr. ANDRÉ FELIPE SIMÕES  
 (Escola de Artes, Ciências e Humanidades/USP)

  
 \_\_\_\_\_ Aprovada  
 Prof. Associada LUCIANA TOGEIRO DE ALMEIDA  
 (Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP/campus de Araraquara)

  
 \_\_\_\_\_ Aprovada  
 Prof. Dr. ANTONIO MOREIRA DOS SANTOS  
 (Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

  
 \_\_\_\_\_ Aprovada  
 Prof. Dr. ALVARO MARTIM GUEDES  
 (Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP/campus de Araraquara)

  
 \_\_\_\_\_  
 Prof. Associado AQUILES ELIE GUIMARÃES KALATZIS  
 Coordenador do Programa de Pós-Graduação em  
 Engenharia de Produção

  
 \_\_\_\_\_  
 Prof. Associado PAULO CÉSAR LIMA SEGANTINE  
 Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC



*Dedico:  
A Deus, à minha família e aos meus amigos*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que me deu a vida e a inspiração para seguir o meu caminho.

Aos meus pais, Paulo Sarmanho e Jacinta Laura, que sempre me deram assistência, amor e motivação.

À minha orientadora, Daisy Rebelatto, pela paciência e compreensão.

Ao professor Antônio Moreira dos Santos, pela paciência para tirar todas as minhas dúvidas.

Aos amigos Enzo Mariano, Naja Brandão e Flávia Camioto, pelas contribuições e, também, pela amizade.

Aos amigos Vanda, Ana Paula, Vanessa, Guilherme, Olívia, Aline, Daniela, Flávio, Rafael, Lie e Hélio, pelo carinho e companheirismo durante todos os anos de estudos intensos na USP.

Aos funcionários e docentes do Departamento de Engenharia de Produção da EESC, pela atenção e apoio durante o desenvolvimento desta pesquisa, em especial à Sueli Regina Ferreira.

À Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização do doutorado.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para realização deste trabalho.

## RESUMO

LIMA, M. S. O. (2011). **A aplicabilidade do gás natural do ponto de vista mercadológico, econômico e ambiental: um estudo para os Estados do Amazonas e de São Paulo**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

A atividade industrial é um dos principais causadores dos impactos negativos ao meio ambiente, pois, para operar um processo produtivo, é indispensável o uso de insumos oriundos de recursos naturais. Para amenizar esse problema, é importante ampliar a participação de insumos energéticos mais limpos na matriz energética da indústria brasileira, a fim de promover um crescimento calcado nas propostas do desenvolvimento sustentável. Uma alternativa energética, que passou a ter importância diante da crise energética de 2000/2001, foi o gás natural (GN). O GN traz grandes expectativas ao consumidor do setor industrial, quando comparado com alguns dos seus energéticos substitutos, pois é capaz de contribuir com a redução de custos, mitigar a poluição e garantir o nível de produção sem riscos de interrupção em períodos de estiagem dos reservatórios nas hidrelétricas. Com base nisso, o presente trabalho analisa a aplicabilidade do gás natural do ponto de vista mercadológico, econômico e ambiental, por meio da identificação dos atributos que interferem na adoção do GN como energético alternativo nos principais setores industriais dos Estados de São Paulo (SP) e do Amazonas (AM) e da análise da eficiência produtiva relativa de um conjunto de equipamentos (caldeiras e aquecedores) do setor industrial, a fim de comparar o desempenho dos equipamentos que utilizam o gás natural com os que utilizam os demais energéticos. Como forma de atingir os objetivos expostos, o método compreendeu uma combinação da utilização da técnica do incidente crítico (TIC) e da análise conjunta (AC). A aplicação da técnica do incidente crítico forneceu os atributos considerados importantes para a adoção desse energético no setor industrial, e a análise conjunta serviu para determinar a utilidade e importância relativa dos atributos relevantes na escolha do consumidor. Além disso, foi utilizada a análise por envoltória de dados (DEA) como forma de analisar a eficiência produtiva relativa dos equipamentos estudados. Vale ressaltar que a análise por meio da DEA foi baseada na relação custo/benefício dos equipamentos. Os benefícios considerados eram de natureza econômica e ambiental. Com o presente trabalho, foram obtidos resultados importantes que podem ajudar as empresas usuárias e não usuárias do GN a mensurar, de forma mais objetiva, os benefícios oriundos da utilização deste energético nos processos produtivos e, também permitir ao governo estabelecer estratégias adequadas para incentivar o uso do gás depois da prevista ampliação da sua oferta devido às descobertas recentes de reservas na camada pré-sal e do funcionamento do novo gasoduto Urucu-Coari-Manaus.

Palavras-chave: Gás Natural. Desenvolvimento Sustentável. Indústrias Paulistas. Indústrias Amazonenses. Técnica do Incidente Crítico. Análise Conjunta. Análise por Envoltória de Dados.

## ABSTRACT

LIMA, M. S. O. (2011). **The applicability of natural gas from a marketing, economic and environmental point of view: A study of the Amazon and São Paulo States.** Thesis (Doctorate) – São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, São Carlos, 2011.

Industrial activity is one of the main originators of negative impacts to the environment, given that the use of raw materials from natural resources is indispensable when operating a production process. To mitigate this problem, it is important to broaden the participation of cleaner energy inputs in the Brazilian energy sector in order to promote growth based on the proposals of sustainable development. An alternative energy is natural gas (NG), which became important after the energy crisis of 2000/2001. When compared with some of its energy substitutes, NG brings great expectations to the consumer industry since it is able to reduce costs, mitigate pollution and ensure the level of production without the risk of supply interruption from the hydroelectric plants during the dry periods. Based on this context, this paper analyzes the applicability of natural gas from a marketing, economic and environmental point of view, by identifying the attributes that influence the adoption of natural gas as alternative energy in the major industrial sectors of the states of São Paulo (SP) and Amazonas (AM), and examines the relative productive efficiency of a set of equipments (boilers and heaters) in the industrial sector, in order to compare the performance of equipments that use natural gas with those using other energy sources. To achieve the stated objectives, the method used included a combination of the critical incident technique (CIT) and conjoint analysis (CA). The application of the critical incident technique provided the attributes considered important for the adoption of this energy source in the industrial sector, and the conjoint analysis determined the usefulness and relative importance of the pertinent attributes in the consumers' choice. Additionally, the data envelopment analysis (DEA) was used as a way to analyze the relative productive efficiency of the equipments that were studied. It should be noted that the DEA analysis was based on the equipments' cost-effective ratio. The benefits considered were essentially economic and environmental. This study obtained important results that can help NG user and nonuser companies to more objectively measure the benefits of applying this energy source in production processes, as well as enable the government to establish appropriate strategies to encourage gas use after its foreseen production expansion, on account of recent discoveries of reserves in the pre-salt layers and the operation of the new Urucu-Coari-Manaus gas pipeline.

Key words: Natural Gas. Sustainable Development. São Paulo Companies. Amazon Companies. Critical Incident Technique. Conjoint analysis. Data Envelopment Analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Ilustração do gás não-associado e associado encontrado nos reservatórios naturais.....	37
Figura 2.2 – Matriz energética paulista em 2009.....	47
Figura 2.3 – Área de concessão da Comgás, Gás Brasileiro GBD e Gás Natural SPS..	59
Figura 2.4 – Malha de distribuição da Cigás.....	60
Figura 3.1 – <i>The Triple Bottom Line</i> .....	78
Figura 4.1 – Pirâmide de informação.....	86
Figura 4.2 – Processo produtivo.....	94
Figura 5.1 – Estágios do diagrama de decisão da análise conjunta.....	110
Figura 5.2 – Os três tipos básicos de relações entre níveis fatoriais em análise conjunta.....	115
Figura 5.3 – Transferência de calor.....	124
Figura 5.4 – Representação de uma DMU.....	126
Figura 5.5 – Fronteira eficiente de produção.....	128
Figura 5.6 – Cálculo da produtividade de uma DMU.....	128
Figura 5.7 – Etapas do método de cálculo da eficiência.....	129
Figura 5.8 – Representação das DMUs a serem estudadas.....	133
Figura 5.9 – Modelo de orientação ao <i>input</i> ou ao <i>output</i> .....	134
Figura 5.10 – Comparação entre as fronteiras dos modelos BCC e CCR.....	140

Figura 5.11 – Correspondência entre modelos matemáticos DEA e o tipo de eficiência calculada.....	141
Figura 6.1 – Exemplo de formato de apresentação de cartões.....	153

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 – Composição típica do GN.....	36
Gráfico 2.2 – Evolução das reservas provadas de GN no Brasil entre 1965-2009.....	40
Gráfico 2.3 – Distribuição percentual das reservas provadas de GN no Brasil no ano de 2009.....	41
Gráfico 2.4 – Distribuição percentual da produção de GN no Brasil no ano de 2009....	43
Gráfico 2.5 – Percentual do consumo final de energia por setor.....	44
Gráfico 2.6 – Estrutura de consumo final de energético por fonte no Brasil no ano de 2009.....	45
Gráfico 2.7 – Estrutura do consumo do setor industrial no Brasil em 2009.....	46
Gráfico 2.8 – Estrutura do consumo de GN no Brasil em 2009.....	46
Gráfico 2.9 – Estrutura do consumo por energético em SP.....	48
Gráfico 2.10 – Estrutura de consumo de energia no setor industrial do Estado de SP no ano de 2009.....	48
Gráfico 2.11 – Estrutura do consumo final de gás natural no ano de 2009.....	49
Gráfico 6.1 – Importância relativa de cada fator (atributo) para as empresas de SP.....	155
Gráfico 6.2 – Importância relativa de cada fator (atributo) para as empresas do AM..	156
Gráfico 6.3 – Distribuição dos <i>scores</i> .....	179
Gráfico 6.4 – Potential improvements da caldeira do fabricante 2 modelo CGV-30 movido a gás natural.....	182

Gráfico 6.5 - Potential improvements da caldeira do fabricante 3 modelo VSH-780 movida a óleo diesel .....	183
Gráfico 6.6 – Reference comparison: Fabricante 1/M3P-10/Óleo Diesel e Fabricante 1/M3P-20/GLP.....	188
Gráfico 6.7 – Input/Output Contributions: Fabricante 2/CGV-30/GN, Fabricante 3/VSH-5000/GN e Fabricante 1/M3P-15/GN.....	189
Gráfico 6.8 – Input/Output Contributions: Fabricante1/M3P-20/GLP.....	190
Gráfico 6.9 – Input/Output Contributions: Fabricante 1/M3P-20/GLP.....	190
Gráfico 6.10 – Input/Output Contributions: Fabricante 3/VSH-780/GN.....	191
Gráfico 6.11 - Input/Output Contributions: Fabricante 1/M3P-15/GLP.....	191
Gráfico 6.12 - Input/Output Contributions: Fabricante 3/VSH-3000/GN.....	192
Gráfico 6.13 - Input/Output Contributions: Fabricante 3/VSH-3000/Óleo1A.....	192
Gráfico 6.14 - Input/Output Contributions: Fabricante 1/M3P-10/GLP.....	193
Gráfico 6.15 - Input/Output Contributions: Fabricante 1/M3P-10/GN.....	193
Gráfico 6.16 - Input/Output Contributions: Fabricante 3/VSH-5000/GLP.....	194
Gráfico 6.17 - Input/Output Contributions: Fabricante 3/VSH-5000/Óleo1A.....	194
Gráfico 6.18 - Input/Output Contributions: Fabricante 3/VSH-5000/Óleo Diesel.....	195
Gráfico 6.19 - Input/Output Contributions: Fabricante 3/VSH-3000/Óleo Diesel e Fabricante3/VSH-780/Óleo 1A.....	195
Gráfico 6.20 - Input/Output Contributions: Fabricante 3/VSH-3000/GLP.....	196
Gráfico 6.21 - Input/Output Contributions: Fabricante 2/CGV-400/GN.....	197

Gráfico 6.22 - Input/Output Contributions: Fabricante 1/FAM10/Lenha.....	197
Gráfico 6.23 – Distribuição dos <i>scores</i> .....	200
Gráfico 6.24 – Potential Improvements do aquecedor do fabricante 1 modelo ETD-2000 utilizando lenha como fonte energética.....	202
Gráfico 6.25 - Potential Improvements do aquecedor do fabricante 2 modelo BMH-1500 utilizando a lenha como energético.....	203
Gráfico 6.26 – Reference comparison: Fabricante 1/ETD-1500/Óleo Diesel e Fabricante 2/BMH-2000/GN.....	207
Gráfico 6.27 – Input/Output contributions: Fabricante1/ETD-2000/Lenha e Fabricante1/ETD-1500/GN.....	209
Gráfico 6.28 - Input/Output contributions: Fabricante1/ETD-1000/Carvão vegetal, Fabricante 1/ETD-1000/Lenha, Fabricante1/ETD-2000/Carvão vegetal e Fabricante 1/ETD-1500/Carvão vegetal.....	209
Gráfico 6.29 – Input/Output Contributions: Fabricante 2/BMH-2000/GN, Fabricante 2/BMH-1500/GN e Fabricante2/BMH-1000/GN.....	210

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1- Quadro resumo com os fatores que facilitam ou dificultam o uso do gás..	39
Quadro 3.1 – Declaração de princípios da indústria para o desenvolvimento sustentável.....	77
Quadro 3.2 – Métodos para sustentabilidade corporativa.....	80
Quadro 4.1 – Conceitos selecionados de indicador.....	84
Quadro 4.2 – Dimensão social dos indicadores de sustentabilidade.....	90
Quadro 4.3 – Dimensão ambiental dos indicadores de sustentabilidade.....	91
Quadro 4.4 – Dimensão econômica dos indicadores de sustentabilidade.....	92
Quadro 4.5 – Dimensão institucional dos indicadores de sustentabilidade.....	92
Quadro 5.1 – Etapas do método científico de uma pesquisa de marketing e de um planejamento experimental.....	108
Quadro 5.2 – Comparação de metodologias conjuntas alternativas .....	112
Quadro 5.3 – Relação dos tipos de DMUs com possíveis <i>inputs</i> e <i>outputs</i> .....	126
Quadro 6.1 – Atributos e seus respectivos níveis.....	152

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Média de emissões no setor industrial.....	38
Tabela 2.2 – Balanço do GN no Brasil em 2009.....	42
Tabela 2.3 – Oferta e demanda de gás natural no Estado de São Paulo em $10^6\text{m}^3$ .....	50
Tabela 2.4 – Oferta e demanda de GN no Brasil em $10^6\text{m}^3$ .....	51
Tabela 6.1 – Exemplos de incidentes críticos obtidos.....	146
Tabela 6.2 – Índice de concordância dos atributos comparados.....	147
Tabela 6.3 – Atributos de valor definidos pelas pesquisadoras 1 e 2.....	148
Tabela 6.4 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo das empresas do AM.....	154
Tabela 6.5 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo das empresas do AM.....	156
Tabela 6.6 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo do setor alimentos e bebidas de SP.....	157
Tabela 6.7 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo do setor alimentos e bebidas do AM.....	158
Tabela 6.8 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo da indústria metalúrgica de SP.....	159
Tabela 6.9 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo da indústria metalúrgica do AM.....	160

Tabela 6.10 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo da indústria de papel e celulose do Estado do AM.....	161
Tabela 6.11 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo da indústria de papel e celulose do Estado do AM.....	161
Tabela 6.12 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo da indústria de vidro do Estados de SP.....	162
Tabela 6.13 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo da indústria cerâmica do Estado de SP.....	163
Tabela 6.14 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo da indústria de componentes plásticos do Estado do AM.....	164
Tabela 6.15 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo da indústria química do Estado do AM.....	165
Tabela 6.16 – Utilidades parciais e importância relativa para o respondente 5 do Estado de SP.....	167
Tabela 6.17 – Utilidades parciais e importância relativa para o respondente 5 do Estado do AM.....	169
Tabela 6.18 – Cálculo da produtividade e da eficiência do par inicial de input e output.....	173
Tabela 6.19 – Cálculo da eficiência entre a variável restante e a eficiência obtida pelo par inicial.....	176
Tabela 6.20 – <i>Scores</i> de eficiência das caldeiras dos 3 fabricantes .....	178
Tabela 6.21 – <i>Scores</i> de eficiência das caldeiras do fabricante 1.....	180
Tabela 6.22 – <i>Scores</i> de eficiência das caldeiras do fabricante 2.....	181

Tabela 6.23 – <i>Scores</i> de eficiência das caldeiras do fabricante 3.....	181
Tabela 6.24 – Tabelas de potential improvements com informações mais detalhadas.	183
Tabela 6.25 – Tabelas de potential improvements com informações mais detalhadas.	184
Tabela 6.26 – Resumo de potential improvements de todas as caldeiras consideradas no processamento da ferramenta DEA.....	185
Tabela 6.27 – <i>Scores</i> de eficiência dos aquecedores dos 3 fabricantes.....	199
Tabela 6.28 – <i>Scores</i> de eficiência dos aquecedores do fabricante 1.....	200
Tabela 6.29 – <i>Scores</i> de eficiência dos aquecedores do fabricante 2.....	201
Tabela 6.30 – <i>Scores</i> de eficiência dos aquecedores do fabricante 3.....	201
Tabela 6.31 – Tabelas de potential improvements com informações mais detalhadas.	203
Tabela 6.32 – Tabelas de potential improvements com informações mais detalhadas.	204
Tabela 6.33 – Resumo de potential improvements de todos os aquecedores considerados no processamento da ferramenta DEA.....	205
Tabela 6.34 – Percentual de contribuição de cada input para o alcance do <i>score</i> de eficiência.....	210

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AC	Análise Conjunta
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
AOD	Assistência Oficial do Desenvolvimento
BEN	Balanco Energético Nacional
BEESP	Balanco Energético do Estado de São Paulo
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CDS	Comissão de Desenvolvimento Sustentável
CIESP	Centro das Indústrias do Estado de São Paulo
CIGÁS	Companhia de Gás do Amazonas
COMGÁS	Companhia de Gás de São Paulo
CRS	Retornos Constantes de Escala
DEA	Análise por Envoltória de Dados
DMU	Unidades Tomadoras de Decisões
DS	Desenvolvimento Sustentável
ESI	Índice de Sustentabilidade Ambiental
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FIEAM	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GN	Gás Natural
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDS	Indicadores de Desenvolvimento Sustentável

IPT	Instituto de Pesquisa Tecnológica
ISEW	Índice de bem-estar econômico sustentável
MONANOVA	Análise Monotônica de Variância
NAMEA	Matriz de Contas Nacionais
NDRS	Retornos não Decrescentes de Escala
NIRS	Retornos não Crescentes de Escala
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PCSu	Poder Calorífico Superior
PD	Preferência Declarada
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PIB	Produto Interno Bruto
PIM	Pólo Industrial de Manaus
PL	Programação Linear
PO	Pesquisa Operacional
PPC	Paridade do Poder de Compra
SICEA	Sistema Integrado de Contas Econômicas e Ambientais
SPSS	Pacote Estatístico para as Ciências Sociais
SUFRAMA	Superintendência da Zona Franca de Manaus
Tep	Tonelada Equivalente de Petróleo
TBL	Triple Bottom Line
TIC	Técnica do Incidente Crítico
VRS	Retornos Variáveis de Escala

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	25
1.1 Questões de pesquisa, hipóteses e objetivo.....	32
1.2 Estrutura do trabalho.....	33
<b>2 GÁS NATURAL</b> .....	35
2.1 O GN e suas características.....	35
2.2 Importância do gás natural para a indústria.....	37
2.3 Reservas de GN nos Estados de SP e AM e no Brasil.....	39
2.4 Produção de GN nos Estados de SP e AM e no Brasil.....	41
2.5 Consumo de GN no Brasil e no Estado de SP.....	44
2.6 Preços.....	52
2.6.1 Tarifas de transporte.....	52
2.7 Gasodutos que transportam gás para os Estados de SP e AM.....	53
2.7.1 Gasoduto Urucu-Coari-Manaus.....	53
2.7.2 GASPAL (Gasoduto Rio de Janeiro/São Paulo).....	54
2.7.3 GASAN (Gasoduto Santos – SP).....	54
2.7.4 GASBOL (Gasoduto Brasil-Bolívia).....	54
2.8 Distribuidoras de gás do Estado de São Paulo e do Amazonas.....	
2.8.1 Gas Brasileiro GBD.....	57
2.8.2 Gas Natural SPS.....	58
2.8.3 Comgás.....	58
2.8.4 Cigás.....	60
2.9 Diversificação do uso do GN na indústria.....	61
2.9.1 Uso direto do GN na indústria.....	61
2.9.2 Uso indireto do GN na indústria.....	65

2.10 Segmentos industriais com potencial para a utilização do GN.....	67
<b>3 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....</b>	<b>71</b>
3.1 As dimensões da sustentabilidade.....	77
3.2 Métodos que ajudam as empresas a trilhar em direção à sustentabilidade.....	79
<b>4 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE.....</b>	<b>83</b>
4.1 Indicadores de sustentabilidade.....	87
4.2 Apresentação dos possíveis indicadores a serem utilizados na mensuração dos benefícios relacionados ao uso do gás.....	98
<b>5 MÉTODO.....</b>	<b>101</b>
5.1 Realização da pesquisa bibliográfica.....	102
5.2 Uso da Técnica do Incidente Crítico (TIC) e da Análise Conjunta (AC).....	102
5.2.1 Técnica do incidente crítico.....	103
5.2.2 Análise conjunta.....	105
5.3 Análise por Envoltória de Dados (DEA).....	121
5.3.1 Por que utilizar a DEA e como utilizá-la?.....	121
5.3.2 Conceitos preliminares importantes.....	122
5.3.3 Etapas de aplicação da DEA.....	126
5.4 Vantagens e limitações da DEA.....	131
<b>6 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>145</b>
6.1 Resultados da TIC.....	145
6.1.1 Obtenção e coleta de dados.....	146
6.2 Resultados da AC.....	149
6.2.1 Estágio 1: Objetivos da análise conjunta.....	150
6.2.2 Estágio 2: Projeto de uma análise conjunta.....	151

6.2.3 Estágio 3: Suposições da análise conjunta.....	153
6.2.4 Estágio 4: Estimação do modelo conjunto.....	154
6.2.5 Estágio 5: Interpretação dos resultados.....	154
6.2.6 Estágio 6: Validação dos resultados.....	171
6.3 Resultados da análise por envoltória de dados – 1 <sup>a</sup> . Aplicação (caldeiras).....	172
6.3.1 <i>Stepwise</i> .....	172
6.3.2 <i>Efficiency scores</i> .....	178
6.3.2.1 Análise dos <i>scores</i> de eficiência dos 3 fabricantes simultaneamente.....	178
6.3.2.2 Análise dos <i>scores</i> de eficiência de cada fabricante separadamente.....	180
6.3.3 <i>Potential Improvements</i> .....	182
6.3.4 <i>Reference Comparison</i> .....	187
6.3.5 <i>Input/Output Contributions</i> .....	188
6.4 Resultados da análise por envoltória de dados – 2 <sup>a</sup> . Aplicação (aquecedores).....	198
6.4.1 <i>Efficiency scores</i> .....	198
6.4.1.1 Análise do <i>score</i> de eficiência dos 3 fabricantes simultaneamente.....	
6.4.1.2 Análise dos <i>scores</i> de eficiência de cada fabricante separadamente.....	200
6.4.2 <i>Potential Improvements</i> .....	202
6.4.3 <i>Reference Comparison</i> .....	207
6.4.4 <i>Input/Output Contributions</i> .....	208
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	213
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	223

<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>237</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>249</b>
<b>APÊNDICE C.....</b>	<b>349</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>383</b>

## Capítulo 1 - Introdução

---

A crise energética, ocorrida nos anos de 2000/2001, fez com que consumidores de energia elétrica iniciassem a procura por novas alternativas de energia que permitissem a redução de dependência, sem redução de produtividade. Uma alternativa, que recebeu incentivo do governo, foi o uso do gás natural. Essa alternativa tem-se tornado cada vez mais viável, devido às novas descobertas de reservas de grande porte de gás natural na Bacia do Solimões (bacia sedimentar onde se encontram o Polo de Urucu – local onde boa parte do gás é reinjetado, e a jazida de Juruá, ainda sem aplicação comercial) e nos vários campos e poços de petróleo descobertos na camada pré-sal do litoral de Santos.

De acordo com o governo federal, a confirmação da descoberta da reserva de petróleo e gás no campo de Tupi, na Bacia de Santos, inclui o Brasil no grupo de países que compõem a elite mundial dos produtores (LAGE, 2007). Segundo informações da Petrobras (2008), diante das descobertas das novas reservas na área denominada pré-sal, é previsto que a produção de gás no Brasil atenda uma parcela significativa da demanda interna, enquanto a importação seja responsável por um suprimento cada vez menor da demanda total. Segundo ANP (2011), atualmente, a produção de gás no Brasil só consegue atender cerca de 50% da demanda.

Com base em algumas informações divulgadas nos meios de comunicação no ano de 2009, talvez a exploração comercial na camada pré-sal atrase um pouco, pois

ainda existe uma carência enorme de tecnologias de ponta que possibilitem a produção de gás nessa profundidade. Tal deficiência irá prorrogar a dependência pelo gás importado da Bolívia. Mesmo assim, é importante destacar que muitas das notícias, veiculadas na mídia, informam que o Brasil tem reservas suficientes para atender a demanda interna, mas falta infra-estrutura para viabilização da auto-suficiência.

Segundo a ANP (2011), não foram publicados números recentes das reservas provadas de gás, pois há uma indefinição das estimativas de recuperação comercial dos reservatórios descobertos na Bacia de Santos. Segundo o boletim mensal sobre o gás natural publicado pela ANP, em novembro de 2010, os dados mais recentes são do fim de 2009. Neste ano, constatou-se que as reservas provadas ficaram em torno de 358,1 bilhões de m<sup>3</sup>. Como a produção diária do mesmo período era de 57.913,80 mil/m<sup>3</sup> dia, conclui-se que a estimativa de duração dessas reservas é de 17 anos. É evidente que a contabilização do volume das novas reservas irá aumentar significativamente a vida útil delas.

Os principais consumidores, capazes de absorver grande parte da oferta de gás natural, são as empresas do setor industrial. Utilizar a energia disponível da melhor forma foi, e é, um dos objetivos permanentes da indústria. Entretanto, o uso racional da energia, por si só, não atende ao nível de competitividade exigido das empresas. É indispensável buscar fontes energéticas mais adequadas aos processos produtivos e menos agressivas ao meio ambiente, com especial atenção para custos, principalmente para aqueles segmentos industriais nos quais o consumo de energia é bastante significativo para o custo total de produção. Todos esses objetivos das empresas relacionados com o uso de energia favorecem a massificação do uso do GN, pois esse energético possibilita a concretização dos objetivos citados (ALONSO, 2004).

O gás natural tem sido bastante utilizado como combustível em processos de aquecimento. O poder calorífico de um combustível, que depende de sua composição, afeta significativamente o desempenho de equipamentos, incluindo as características da combustão (tais como a extensão da chama, estabilidade, distribuição da temperatura, entre outros), eficiência térmica e emissões. Claramente, a composição do gás pode ser considerada como um parâmetro vital, que afeta o desempenho de equipamentos. Diante disso, a conversão dos equipamentos para uso do GN é assunto de grande importância e deve ser tratada com mais atenção (Ko & Lin, 2003).

Para comprovar todas as vantagens do GN com relação às características físico-químicas que favorecem a aplicação industrial, destaca-se que o GN possui um poder calorífico acima de  $37,68 \text{ MJ/Nm}^3$ . Considerando-se sua densidade média de  $0,768 \text{ kg/Nm}^3$ , pode-se avaliar o seu poder calorífico, por volta de  $47,73 \text{ MJ/kg}$ . Desta forma, o gás natural é utilizado com elevada eficiência em caldeiras, motores de combustão interna e turbinas (LOURENÇO, 2003).

Além disso, muitas organizações passaram a incluir, na gestão de seus negócios, a dimensão ambiental. Alguns dos motivos, já identificados, que levam as empresas a investirem em processos ambientalmente corretos são: sentido de responsabilidade ambiental e social, requisitos legais, salvaguarda da empresa, imagem, proteção do pessoal, pressão do mercado, qualidade de vida e lucro (DONAIRE, 1999).

Do ponto de vista de Moura (2004), existem outras razões que levam as empresas a investirem em processos mais “limpos”, por exemplo, maior satisfação dos clientes, conquista de novos mercados, redução de custos, melhoria do desempenho da empresa, maior permanência do produto no mercado, maior facilidade na obtenção de financiamentos e maior facilidade na obtenção de certificação.

Com a questão ambiental ganhando importância, as empresas constataram que demonstrar qualidade ambiental é um item considerado importante por seus clientes. Considerando-se que a utilização de combustíveis causa problemas bastante conhecidos de poluição do ar, e que os combustíveis mais pesados (óleo combustível, óleo diesel, entre outros) causam maiores problemas que o gás natural, esta alternativa energética, novamente, se destaca pela importância.

A aplicação da metodologia de análise do ciclo de vida em estudos realizados para a comparação entre combustíveis fósseis tem demonstrado que o gás natural tem os melhores desempenhos ambientais, como pode ser comprovado em Riva, D' Angelosante e Trebeschi (2006).

Diante do que foi discutido, é importante salientar que uma das propostas do projeto é verificar a aplicabilidade do gás natural, identificando os atributos que interferem na sua adoção como energético alternativo nos principais setores industriais do Estado de São Paulo (SP) e do Amazonas (AM), que representam mercados potenciais para o gás natural – a indústria metalúrgica, a indústria do vidro, a indústria de alimentos e bebidas, a indústria têxtil, a indústria química, a indústria de papel e celulose e a indústria cerâmica.

Serão estudadas somente as médias e grandes empresas dos Estados do Amazonas e de São Paulo, pois empresas com este porte têm uma preocupação maior em manter vantagem competitiva, e, por isso, os investimentos para a adoção de energéticos mais limpos, como o gás natural, poderão ser maiores. Diante disso, empresas com o perfil citado acima poderão ser consideradas potenciais consumidoras do gás natural.

A escolha das empresas que farão parte do estudo será feita por meio da análise dos dados cadastrais da Federação das Indústrias do Estado do Amazonas (FIEAM), do Centro das Indústrias do Estado de São Paulo (CIESP) e do Relatório do Inventário Estadual de Fontes Fixas elaborado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

Dessa forma, serão selecionadas as empresas de médio e grande porte pertencentes aos setores mencionados como potenciais consumidores industriais do GN e com maiores níveis de emissões de CO<sub>2</sub>.

Como no Estado do Amazonas não dispõe de um inventário dos maiores emissores de CO<sub>2</sub>, a seleção das empresas participantes será baseada unicamente no cadastro da FIEAM.

A problemática que estimulou a realização deste trabalho foi o fato dos projetos FAPESP de números 06/55906-0, 05/56790-3 e 05/60190-1, dos quais a autora desta tese participou, terem identificado, por meio de pesquisa de campo com 12 empresas localizadas em municípios pertencentes à Região Administrativa de Campinas (SP), os fatores que interferem na adoção do gás natural. Além da identificação dos fatores, tiveram, também, o objetivo de avaliar economicamente um projeto de investimento para a introdução do GN em empresa de grande porte da região. Esta tese amplia esta análise, tanto do ponto de vista territorial (SP e AM), como setorial (vários setores selecionados), além de prever a utilização de técnicas e ferramentas avançadas, por exemplo, a Técnica do Incidente Crítico (CIT), Análise Conjunta (AC) e a Análise por Envoltória de Dados (DEA).

Com relação às regiões a serem estudadas, algumas das justificativas podem ser listadas. A Região Sudeste é a que possui maior número de estabelecimentos do setor industrial, e o Estado de São Paulo foi escolhido por ser o que mais se destaca nesta região.

Com relação à sua malha de gasoduto, pode-se destacar que o Estado de São Paulo é atendido pelas linhas de distribuição da Comgás, Gas Brasileiro e Gas Natural São Paulo Sul, empresas distribuidoras de gás.

O Balanço Energético do Estado de São Paulo (2010) aponta que São Paulo produziu um volume total de  $218 \times 10^6 \text{m}^3$  de gás natural no ano de 2009. A reserva provada de gás natural neste Estado, no ano de 2009, girava em torno de 46.189 milhões de metros cúbicos. Segundo a ANP (2010), o Estado é o quarto colocado em volume de gás em suas reservas. Vale destacar que ainda não foi contabilizado o volume de gás das reservas recém-descobertas na Bacia de Santos, o que certamente elevará a posição do Estado.

Com relação à região norte, destaca-se que a Zona Franca de Manaus, prorrogada até 2023, traz para a região Amazônica, principalmente para o Polo Industrial de Manaus – PIM, investimentos de empresas estrangeiras consideradas potenciais consumidoras do GN. Segundo a Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA), o PIM é um dos polos mais modernos da América Latina, com aproximadamente 430 empresas instaladas. Com um faturamento médio em torno de US\$ 10 bilhões anuais e com 70 mil empregos diretos, o polo vem se ampliando principalmente no setor químico. Entre 2006 e 2007, o setor cresceu 23,8% com expectativas crescentes após as reservas de GN exploradas pela Petrobras na região petrolífera de Coari-AM (SUFRAMA, 2007). Ademais, o gasoduto Urucu-Coari-Manaus, destinado ao transporte de gás natural no Amazonas, é uma obra que viabiliza o consumo do energético no Estado. Segundo o Jornal do Comércio do Rio de Janeiro (RJ), publicado no dia 25 de novembro de 2009, o gasoduto Urucu-Coari-Manaus possui 661 quilômetros de extensão e tem o objetivo de inicialmente abastecer a capital do Amazonas com 4,1 milhões de metros cúbicos de gás por dia, o suficiente para gerar aproximadamente 597 megawatts. Essa energia é suficiente para abastecer a cidade e outros sete municípios atravessados pelo traçado do gasoduto. Os municípios que serão beneficiados serão: Coari, Codajás, Anori, Anamá, Caapiranga, Manacapuru e Iranduba. De acordo com Mariz (2005), se houver aumento de demanda, o gasoduto poderá transportar até 10,5 milhões de metros cúbicos de gás por dia.

Vale destacar que o gasoduto Urucu-Coari-Manaus foi inaugurado no dia 26 de novembro de 2009 em um evento realizado na Refinaria Isaac Sabbá (Reman), em Manaus (GASODUTO [...], 2009). A obra é integrante do Programa de Aceleração do

Crescimento (PAC). A princípio, o gás natural produzido no Amazonas servirá, principalmente, para a geração de energia elétrica a partir de usinas termelétricas. Essas unidades consumiam, em 2009, 1,3 bilhão de litros desses combustíveis. Com o gasoduto Urucu-Coari-Manaus, as termelétricas estão sendo convertidas para utilizar gás natural.

Apesar dos bons resultados com a inauguração do gasoduto, é importante mencionar alguns dos problemas envolvendo esse empreendimento. Segundo notícia publicada na Folha de São Paulo no dia 26 de novembro de 2009 (data da inauguração do gasoduto), ele ficaria ocioso pelo menos até setembro de 2010. O jornal “Folha de São Paulo” apurou que as termelétricas ainda estavam fazendo a conversão de seus sistemas de geração para o gás natural e, além disso, não tinha sido concluída a rede de distribuição da Cigás (Companhia de Gás do Amazonas), que transportaria o energético até as termelétricas (LOBATO & BRASIL, 2009).

Em outubro de 2010, a Cigás entregou a primeira etapa da rede de distribuição de Manaus, que possui 43 quilômetros (km) de extensão. A linha possui dois trechos: um que se estende de norte a sul de Manaus atravessando bairros e rodovia federal, e outro que abrange o distrito industrial 1, da termoelétrica de Mauá até a geradora de energia elétrica Tambaqui. Por enquanto, somente 1,1 milhão de m<sup>3</sup>/dia é transportado pela rede de distribuição da Cigás; isso representa 20% de toda a sua capacidade de fornecimento (CIGÁS [...], 2011).

Na mesma matéria publicada na internet, o presidente da Cigás disse que até o final do ano de 2011 as empresas do distrito industrial 2, poderão utilizar o gás natural por meio de conexões diretas com a rede de distribuição da Cigás. Já as fábricas do distrito industrial 1 poderão utilizar o gás natural comprimido.

De acordo com o presidente da concessionária, algumas empresas do Pólo Industrial de Manaus já têm acesso à rede de distribuição, através de válvulas de derivação instaladas no local.

A Cigás é uma empresa de capital misto, controlada pelo Estado do Amazonas, e tem concessão para distribuir 5,5 milhões de metros cúbicos/dia, por 20 anos (LOBATO & BRASIL, 2009).

No início da operação do novo gasoduto, somente a refinaria Reman, instalada em Manaus e pertencente à própria Petrobras, seria abastecida pela obra. Isso é devido ao atraso das conversões das termelétricas que deveriam ser atendidas pelo gasoduto.

De acordo com o um dos principais acionistas das usinas Tambaqui e Jaraqui, Athos Rache Filho, os motivos para a demora na conversão é o descasamento entre os contratos que as térmicas possuem com a Amazonas Energia (empresa da Eletrobrás, que compra a energia produzida pelas termelétricas) e com a distribuidora Cigás. Segundo o empresário, na eventualidade de faltar gás, as usinas seriam punidas pelas Amazonas Energia e não poderiam repassar os custos da punição para a Cigás (LOBATO & BRASIL, 2009).

A justificativa para o atraso da construção dos canais de distribuição da Cigás se deve ao fato dos dutos terem sido comprados da China e retidos na alfândega pela Receita. Diante disso, o contrato entre a Cigás e fornecedor de dutos foi anulado.

Além das características acima, e segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2010), o Amazonas produziu um volume total de 124,3 x10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> de gás natural no ano de 2009. De acordo com o Balanço Energético Nacional (2010), a reserva provada de gás natural nesse Estado, no ano de 2009, girava em torno de 52.397 milhões de metros cúbicos. Com isso, é o segundo colocado em volume de gás em suas reservas, sendo o primeiro o Estado do Rio de Janeiro, e o terceiro, o Estado do Espírito Santo (ANP, 2010).

De acordo com os dados estatísticos apresentados até o momento, pode-se concluir que os Estados do Amazonas e de São Paulo podem tornar-se importantes consumidores de gás.

O gás natural é considerado parte da solução para o problema do alto nível de concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Vale ressaltar que o dióxido de carbono é o principal gás de efeito estufa devido à sua vida útil elevada e à maior concentração desse poluente, quando comparado com o nível de concentração dos demais gases de efeito estufa (GEE). Projetos de substituição de combustíveis fósseis mais pesados contribuem, portanto, para a sustentabilidade ambiental da indústria e, além disso, estimulam a inovação tecnológica dos processos industriais. Diante disso, a incorporação do gás natural pelos segmentos industriais em países em desenvolvimento, como o Brasil, deve ser justificada dentro de uma ótica mais ampla do conceito de competitividade, pois a utilização do gás pode induzir à compra de máquinas e à aquisição de novas tecnologias, contribuindo, dessa forma, para a inovação dos processos produtivos.

## 1.1 Questões de pesquisa, hipóteses e objetivo

Considerando-se que a dissertação de mestrado, elaborada pela mesma autora desta tese, constatou que a adoção do GN em uma empresa selecionada foi considerada inviável do ponto de vista econômico, e que muitas vantagens de caráter ambiental não estavam sendo quantificadas na análise do projeto devido às dificuldades apresentadas pelos métodos tradicionais de avaliação, o presente projeto propõe investigar a seguinte questão de pesquisa:

**A consideração da variável ambiental coloca equipamentos a GN em posição de vantagem quando comparados com equipamentos que utilizam outros energéticos?**

Para essa primeira questão, tem-se como hipótese o seguinte:

H1: A consideração da variável ambiental garante posição de vantagem aos equipamentos a GN quando comparados com equipamentos que utilizam outros energéticos.

Além disso, o trabalho de mestrado acima referenciado constatou que custos são fatores decisivos na adoção do GN, para processos produtivos do setor têxtil. Diante disso, este estudo pretende responder, por meio do uso de técnicas mais avançadas (TIC e AC), a seguinte questão de pesquisa:

**Quais fatores, além de custos, podem influenciar na decisão dos diversos setores industriais na hora de investir em equipamentos a gás?**

Para responder a questão anterior, propõe-se testar a seguinte hipótese relacionada:

H2: As questões ambientais são consideradas fatores de grande influência na decisão pela adoção do GN nos processos produtivos.

Diante dos problemas e hipóteses apresentados, é possível formular o seguinte objetivo para o trabalho: analisar a aplicabilidade do gás natural do ponto de vista mercadológico, econômico e ambiental, por meio da identificação dos atributos que interferem na adoção do GN nos principais setores industriais dos Estados de São Paulo (SP) e do Amazonas (AM), e da análise da eficiência produtiva relativa de um conjunto de equipamentos que utilizam gás natural e seus substitutos.

## 1.2 Estrutura do trabalho

Esta tese está organizada em 6 capítulos. Neste primeiro – **Introdução** - foram apresentados o tema do trabalho, a justificativa, a relevância e os objetivos.

O capítulo 2 trata do **Gás Natural** mostrando as suas características, a forma como pode ser encontrado no meio ambiente, a importância de sua utilização para o setor industrial, os possíveis fatores que facilitam ou dificultam a sua adoção nas indústrias, a totalização de suas reservas, produção e consumo em São Paulo, no Amazonas e no Brasil, as distribuidoras e os gasodutos que atendem as localidades estudadas, os diversos usos do gás natural e os segmentos com potencial para a utilização desse combustível. O capítulo mostra, também, a formação de preços desse combustível e as tarifas de transporte.

O capítulo 3 trata do **Desenvolvimento Sustentável**, um tema que tem forte relação com o presente trabalho, pois o gás pode proporcionar benefícios nas três dimensões da sustentabilidade (econômica, ambiental e social).

No capítulo 4, o tema **Indicadores de Sustentabilidade** é apresentado de um modo amplo. Primeiramente, é feita uma apresentação de algumas definições e objetivos de indicadores de acordo com autores de renome. Por último, são apresentados alguns dos indicadores de sustentabilidade apresentados na literatura e os indicadores a serem utilizados na mensuração dos benefícios relacionados ao uso do gás.

O capítulo 5, intitulado **Método**, apresenta o método de pesquisa utilizado neste trabalho. É neste capítulo que é feita uma apresentação das etapas do uso da técnica do incidente crítico (TIC), da análise conjunta (AC) e da análise por envoltória de dados (DEA).

O capítulo 6 faz uma **Apresentação e Discussão dos Resultados** obtidos com a aplicação da TIC, AC e DEA.

No capítulo 7, estão as **Conclusões** da tese.

No final do trabalho, são apresentados os apêndices A, B, e C. O apêndice A, apresenta o questionário para coleta de dados dos incidentes críticos. Além disso, mostra os gráficos e tabelas obtidos com os resultados da TIC.

O apêndice B apresenta o questionário usado na coleta de informações para análise conjunta e mostra as telas com o passo a passo do *software* SPSS para a

execução da AC. Além disso, apresenta os diversos gráficos com os resultados desse tipo de análise para os dados agregados e para os dados separados por setor industrial estudado.

O apêndice C apresenta o passo a passo do *software Frontier* para aplicação da análise por envoltória de dados e alguns gráficos com os resultados da análise.

Além dos apêncides, foi elaborado um anexo. O anexo A apresenta a metodologia *top-down* do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas). Essa metodologia foi usada para quantificar o nível de emissão de CO<sub>2</sub> a partir da informação do volume de energia consumido. O nível de emissão de CO<sub>2</sub> foi utilizado como variável de *output* no *software Frontier*.

## Capítulo 2 – Gás Natural

---

O presente capítulo trata do gás natural mostrando as suas características; a forma como pode ser encontrado no meio ambiente; a importância de sua utilização para o setor industrial; os possíveis fatores que influenciam a sua adoção nas indústrias; a totalização de suas reservas; a produção e consumo no Estado de São Paulo, no Amazonas e no Brasil; as distribuidoras e os gasodutos que atendem as localidades estudadas; a formação de preços e as tarifas de transporte desse combustível; a polêmica relacionada com a nacionalização do gás boliviano; a discussão sobre o planejamento energético brasileiro; os diversos usos do gás natural e os segmentos com potencial para a utilização desse combustível.

### **2.1 O GN e suas características**

O gás natural (GN) é definido como uma mistura de hidrocarbonetos leves – compostos químicos formados, exclusivamente, por átomos de carbono e hidrogênio – que na temperatura ambiente e pressão atmosférica permanece no estado gasoso. O GN encontra-se acumulado em rochas porosas no subsolo, frequentemente associado ao petróleo, constituindo reservatórios naturais. Apresenta baixos teores de contaminantes, tais como nitrogênio, dióxido de carbono e compostos de enxofre, com raras ocorrências

de gases nobres (SCANDIFFIO, 2001). As composições médias do gás estão mostradas no Gráfico 2.1.

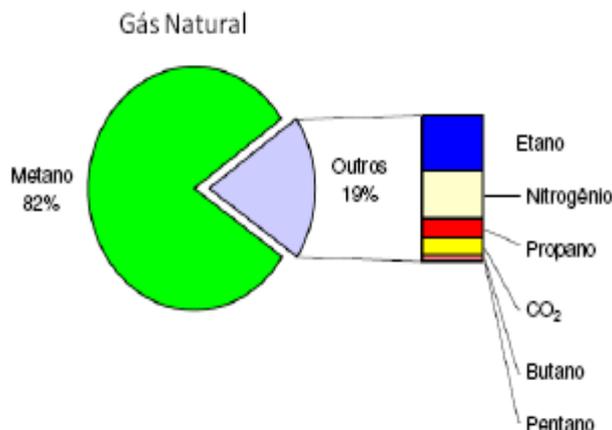


Gráfico 2.1 Composição típica do GN (ANP, 2009)

O gás natural é utilizado com elevada eficiência em caldeiras, motores de combustão interna e turbinas. É importante salientar que, quando comparado ao óleo combustível, a queima se faz com mais facilidade, pois o controle da relação ar/combustível é mais preciso e a mistura com o ar é mais uniforme, resultando em temperaturas mais elevadas (LOURENÇO, 2003).

Dentre os hidrocarbonetos, o gás natural tem o mais baixo ponto de ebulição:  $-162^{\circ}\text{C}$ . No processo de criogenia (redução da temperatura para passar para o estado líquido), reduz-se seu volume em seiscentas vezes. Pode, assim, vir a ser transportado de um continente a outro, por navios-tanque chamados de navios metaneiros (ALONSO, 1999).

Existem duas categorias de gás natural: o associado e o não-associado. O gás associado é aquele que, no reservatório, está dissolvido no óleo. O gás não-associado tem muito pouco óleo, quase que totalmente limpo, sendo direcionado exclusivamente para o mercado de gases combustíveis, diferentemente do gás associado, que terá sua produção determinada pela produção do óleo, tendo em vista que, no Brasil, é usual sua reinjeção no poço para aumento da produção do petróleo (PALOMINO, 2004). A Figura 2.1 ilustra essas duas categorias de GN.

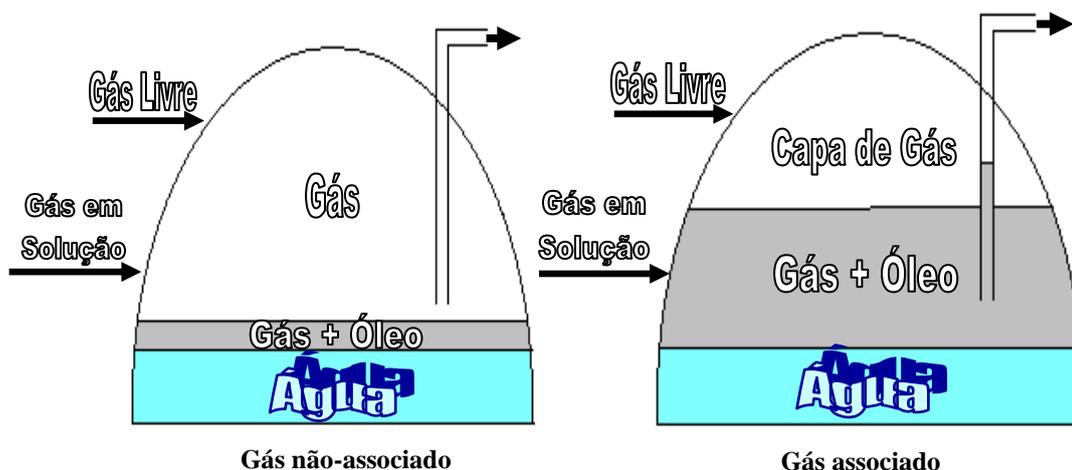


Figura 2.1 Ilustração do gás não-associado e associado encontrado nos reservatórios naturais

O gás natural é inodoro. As companhias de gás utilizam um produto químico como odorante (uma mistura de mercaptanas, contendo enxofre) que, em quantidades muito pequenas – 20/25 partes por milhão - dá ao gás um odor que é associado ao característico “cheiro do gás”, tornando assim mais fácil sua detecção pelo olfato no caso de possível vazamento (ALONSO, 1999).

## 2.2 Importância do gás natural para a indústria

A crise energética de 2000/2001 estimulou o Brasil a buscar fontes alternativas de energia, entre elas, o gás natural, o qual está sendo largamente utilizado nos setores industriais do país. O GN pode proporcionar diversos benefícios para seus consumidores, tanto no aspecto ambiental, como no operacional e econômico e, até, de qualidade do produto.

Do ponto de vista ambiental, no atual estágio tecnológico, o GN é aquele que, dentre todos os combustíveis fósseis, emite menores quantidades de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ). A Tabela 2.1 abaixo apresenta a média de emissões de poluentes do gás liquefeito de petróleo (GLP), do óleo combustível e do gás natural quando usados em atividades industriais.

Tabela 2.1 – Média de emissões no setor industrial

Energéticos	CO <sub>2</sub> (Gg/1000 tep)	CH <sub>4</sub> (Gg/1000 tep)	N <sub>2</sub> O (Gg/1000 tep)	NO <sub>x</sub> (Gg/1000 tep)	CO (Gg/1000 tep)
Gás Natural	2,34	0,000158	0,0000042	0,00628	0,00054
Óleo Combustível	3,21	0,000063	0,0000251	0,00837	0,00018
GLP	2,62	0,000063	0,0000251	0,00837	0,00018

Fonte: IPCC (2000)

Pela tabela 2.1, verifica-se que o gás natural emite uma maior concentração de metano. Apesar do metano ter um Potencial de Aquecimento Global (GWP) elevado, ou seja, 23 vezes maior que o CO<sub>2</sub>, pode-se dizer que o dióxido de carbono é o mais importante. Isso é devido à maior concentração e prolongada vida útil do CO<sub>2</sub> na atmosfera (KEMP, 1994).

A utilização desse combustível em equipamentos adaptados e adequados para a queima de gás também elimina a emissão de óxido de enxofre, fuligem e materiais particulados (SANTOS *et al.*, 2002).

Além de não agredir tanto o meio ambiente quanto os demais combustíveis fósseis, o uso do gás natural pode diminuir o custo operacional da indústria, evitando gastos com manutenção, limpeza e compra de equipamentos contra a poluição como filtros, lavadores de gás e multiciclones (COMGÁS, 2005). Outro fator que favorece a redução dos custos está relacionado ao seu preço, pois a tarifa praticada atualmente é um atrativo para alguns consumidores do GN. Esses dois fatores permitem reduzir o custo do produto final e, conseqüentemente, aumentar a vantagem de custo da empresa que utiliza esse recurso energético.

Em complementação aos benefícios já citados, é importante destacar um quadro resumo (Quadro 2.1) dos fatores encontrados, na mídia e na literatura científica, que influenciam ou poderiam influenciar na escolha por equipamentos a gás. Eles foram obtidos por meio da comparação do gás com os seus substitutos (GLP, óleo combustível, lenha, carvão mineral e vegetal, etc.). Vale ressaltar que todos os fatores (facilitadores e dificultadores) foram listados levando-se em consideração a aplicação do energético em instalações industriais.

<b>Fatores que facilitam ou facilitariam:</b>	<b>Fatores que dificultam ou dificultariam:</b>
1. Contribui para a eficiência energética;	1. Falta informação sobre o gás e as tecnologias que utilizam este energético;
2. Garante o nível de produção por não haver interrupção com o período de seca nos reservatórios das hidrelétricas;	2. Acarreta elevados custos para a conversão da fábrica em algumas situações;
3. Proporciona uma vida útil mais prolongada do equipamento;	3. Ausência de linhas de distribuição;
4. Reduz o nível de emissão;	4. Necessita de mais fornecedores nacionais;
5. Diminui os custos das empresas;	5. Falta de assistência técnica especializada;
6. Proporciona maior facilidade operacional;	6. Custo do serviço para suporte técnico tem preço elevado;
7. Evita armazenagem de combustível;	7. Elevado custo do investimento inicial;
8. Reduz o movimento de caminhões nas fábricas;	8. O retorno do investimento é demorado;
9. Dispensa alguns gastos nos casos de adaptação do equipamento;	9. Escassez de fontes de financiamento;
10. Proporciona grandes vantagens competitivas calcadas na melhoria ambiental;	10. Necessidade de treinamento de pessoal para a operação dos equipamentos;
11. Oferece menos riscos de combustão reduzindo custos com seguro;	11. O preço do gás está subindo;
12. Oferece maior segurança em casos de vazamento por ser menos denso que o ar;	12. Resistência das pessoas para introdução de novas tecnologias;
13. Proporciona elevado rendimento térmico;	13. Necessidade de mudanças no processo produtivo para adaptação às novas tecnologias;
14. Requer menos manutenção;	14. Rigidez nas condições comerciais do contrato entre empresa distribuidora e consumidora.
15. Permite controle muito preciso da temperatura;	
16. Melhora a qualidade do produto.	

Quadro 2.1 – Quadro resumo com os fatores que facilitam ou dificultam o uso do gás

Vale destacar que a incorporação do gás natural pelos segmentos industriais em países em desenvolvimento, como o Brasil, deve ser justificada dentro de uma ótica mais ampla do conceito de competitividade. O uso do gás pode induzir a compra de máquinas e a aquisição de novas tecnologias, permitindo um aumento da produtividade e da qualidade dos bens finais produzidos (SANTOS *et al.*, 2002).

### 2.3 Reservas de GN nos Estados de SP e AM e no Brasil

Segundo a ANP (2010), analisando-se o período compreendido entre os anos de 1965 e 2009, as reservas provadas de gás natural no Brasil cresceram a uma taxa média de 7,1% a.a. As principais descobertas ocorreram na Bacia de Campos (RJ) e na Bacia do Solimões (AM). Há, no entanto, a expectativa de que novas reservas de gás natural sejam descobertas, sob a forma não-associada, tal como é sinalizado pelas descobertas recentes na Bacia de Santos.

O crescimento já registrado da produção das reservas provadas não acompanha o crescimento da demanda, portanto o Brasil ainda é bastante dependente das reservas bolivianas para atender a demanda de gás dos setores consumidores. Espera-se que, com os futuros investimentos da Petrobras na exploração de reservas recentemente descobertas na Bacia de Santos, a dependência do gás boliviano seja reduzida.

Observa-se que os dados apresentados acima sobre a evolução das reservas ainda não contabilizam as recentes descobertas na camada pré-sal. Isso não foi considerado, pois, segundo consulta no site da ANP no dia 07/03/2011, os boletins periódicos da agência ainda não informaram o volume de gás descoberto.

O Gráfico 2.2 mostra como se comportou esse crescimento das reservas brasileiras de gás natural no período 1965-2009, bem como a sua distribuição geográfica nos últimos anos da série.

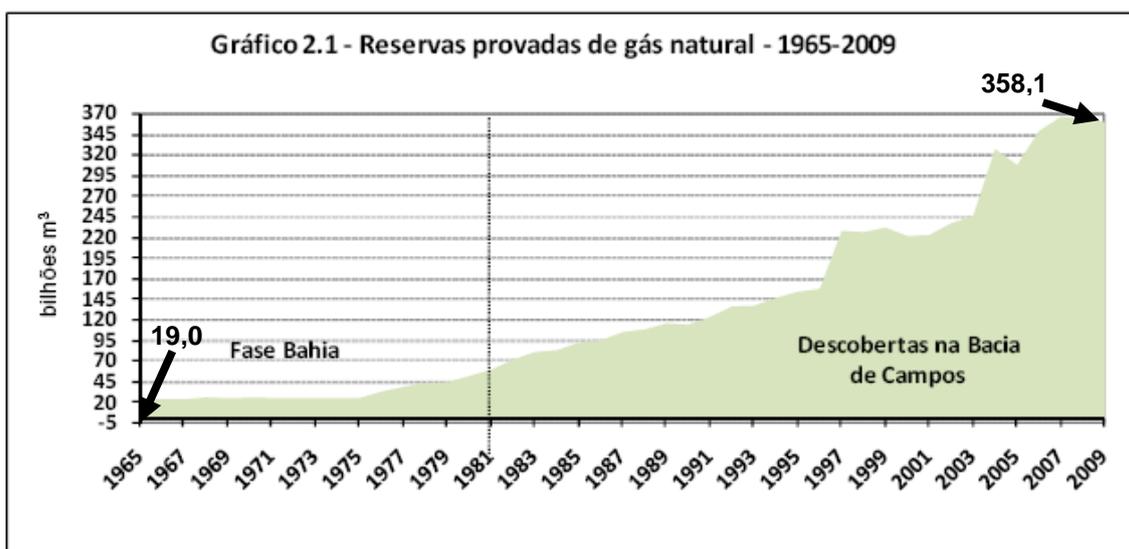


Gráfico 2.2 - Evolução das reservas provadas de GN no Brasil entre 1965-2009  
Fonte: ANP (2009)

De acordo com o Gráfico 2.2, em 2009 as reservas provadas de gás natural no Brasil ficaram em torno de 358,1 bilhões m<sup>3</sup>, um decréscimo de 1,6% em relação a 2008. No mesmo ano, as reservas de gás natural no Estado de São Paulo ficaram em torno de 46,189 bilhões m<sup>3</sup> e as do Amazonas totalizaram 52,397 bilhões m<sup>3</sup> (ANP, 2010).

Com relação ao ano de 2005, uma das descobertas que merecem destaque é a reserva de gás do Campo de Mexilhão (SP), pois ela foi estimada em 400 bilhões de m<sup>3</sup>. Só no primeiro momento, seria possível extrair de 20 a 25 milhões de m<sup>3</sup> de gás por dia, o equivalente ao que o Brasil importa hoje da Bolívia. Com isso, o país apresenta

potencial para tornar-se menos dependente das importações de gás da Bolívia (GASNET, 2006).

É importante acrescentar também que, desde 2006, o Brasil vem perfurando muitos poços na camada pré-sal. Segundo notícia publicada, em dezembro de 2009, no jornal Valor Econômico por Cláudia Schüffner, na Bacia de Santos foram encontrados os blocos onde se encontram os maiores volumes recuperáveis de petróleo e gás na camada pré-sal, tais como Tupi, Iara, Parati, Carioca, Bem-te-vi, Caramba, Júpiter e Azulão.

O Gráfico 2.3 mostra a distribuição percentual das reservas provadas de GN no Brasil na data 31/12/2009.

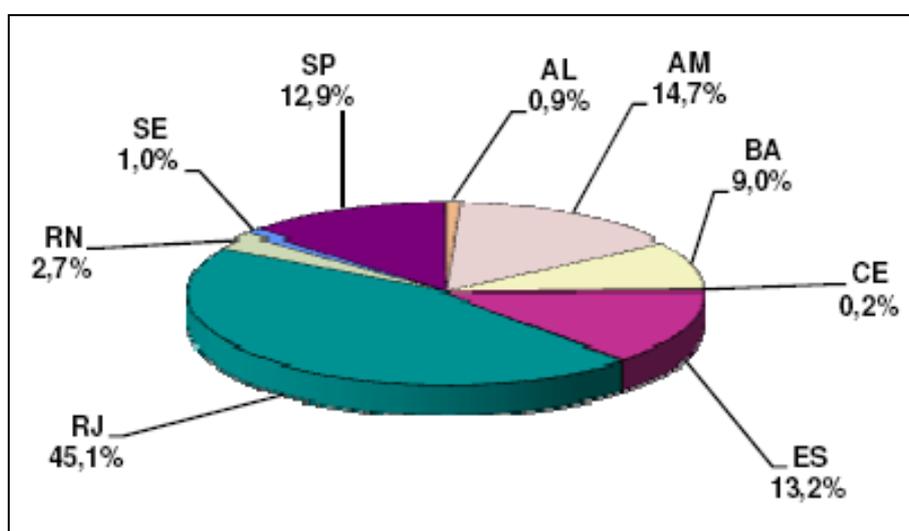


Gráfico 2.3 - Distribuição percentual das reservas provadas de GN no Brasil no ano de 2009  
Fonte: ANP (2010)

O Gráfico 2.3 mostra que o Estado de São Paulo é o quarto Estado com maior volume de gás em suas reservas, pois o primeiro é o Rio de Janeiro, o segundo é o Amazonas e o terceiro, o Espírito Santo. Isso pode incentivar as empresas paulistas e amazonenses a se converterem ao gás, pois o total das reservas desses Estados garante o abastecimento por certo período.

#### 2.4 Produção de GN nos Estados de SP e AM e no Brasil

No período 1965-2009, a produção de gás natural no Brasil cresceu 7,8% a.a., em média, tendo ocorrido um grande salto na década de 1980, principalmente em decorrência do início de operação das jazidas da Bacia de Campos. Em 2008, 70,9% da

produção se concentraram nos campos marítimos, situação bastante distinta daquela ocorrida até 1972, quando a produção concentrava-se nos campos terrestres, especialmente no Estado da Bahia (ANP, 2009).

O Boletim anual da ANP, em 2010, apresenta que a média da produção diária de GN em todo o Brasil em dezembro de 2009 nos campos marítimos foi  $43.671,91 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{dia}$  e a média de produção diária nos campos terrestres foi  $16.770,33 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{dia}$ . No mesmo período, o Estado do Amazonas teve produção média diária de  $10.460,87 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{dia}$  e o de São Paulo, de  $703,67 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{dia}$ . Percebe-se que o nível produção do Estado do AM está bem acima do nível de SP.

É importante observar que o volume de gás natural produzido não é disponibilizado para venda em sua totalidade, uma vez que parte do volume extraído é destinada ao consumo próprio da Petrobras, queima e/ou perda e reinjeção nos reservatórios para recuperação de petróleo. Diante disso, é interessante fazer um balanço do gás natural para saber quanto é disponibilizado para venda.

A média do balanço do GN no Brasil, em dezembro de 2009, está mostrada na Tabela 2.2. Os dados desse balanço foram retirados do boletim mensal do gás natural da ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) de outubro de 2009.

**Tabela 2.2 - Balanço do GN no Brasil em 2009 ( $10^3 \text{ m}^3/\text{dia}$ )**

<b>Produção</b>	60.442
<b>Consumo próprio</b>	9.362
<b>Queima e perda</b>	7.461
<b>Reinjeção</b>	12.679
<b>Produção nacional líquida</b>	30.941
<b>Importação</b>	20.563
<b>Oferta</b>	51.504

Fonte: ANP (2010)

Durante o ano de 2009, a produção líquida variou  $6.936 \times 10^3 \text{ m}^3$ , se comparar a média do mês de janeiro (menor volume de gás produzido) e a média do mês de dezembro (maior volume de gás produzido), e a importação chegou a variar  $8.389 \times 10^3 \text{ m}^3$ , se compararmos a média do mês de março (maior volume de gás importado) com a média do mês de dezembro (menor volume de gás importado).

O Gráfico 2.4 mostra a distribuição percentual da produção de GN no Brasil no ano de 2009. Esses percentuais foram obtidos a partir dos valores médios de produção de cada Estado.

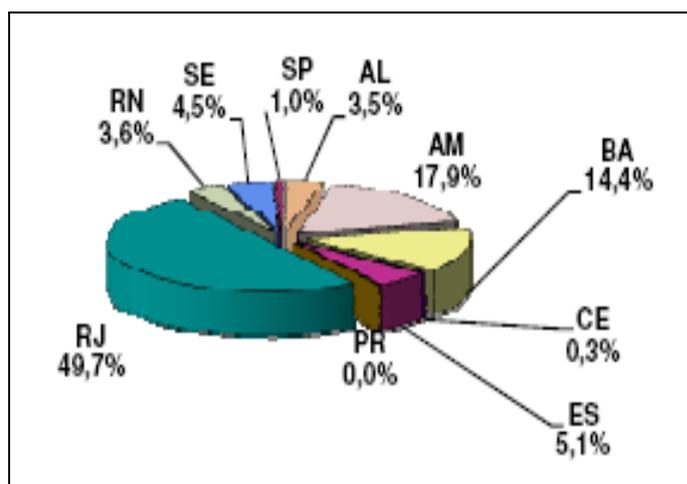


Gráfico 2.4 - Distribuição percentual da produção de GN no Brasil no ano de 2009

Fonte - ANP (2010)

O Gráfico 2.4 informa que os três maiores produtores de GN são Rio de Janeiro, Amazonas e Bahia. São Paulo é atualmente classificado como o oitavo maior produtor dos 10 Estados produtores no Brasil, apesar de ter a terceira maior reserva brasileira. Isso destaca a necessidade dele investir mais na infra-estrutura para a produção desse combustível.

Diante das ameaças relacionadas à crise do gás enfrentadas no ano de 2006, envolvendo um possível desabastecimento do gás boliviano, o Brasil está tentando antecipar a produção de muitas reservas provadas que ainda não foram exploradas.

A produção de Gás Natural no Estado de São Paulo passa a ser representada exclusivamente pela Bacia de Santos, enquanto que a importação é representada pelo gás natural obtido pela Bacia de Campos e pelo gás boliviano, conforme informações fornecidas pela COMGÁS. Para diminuir a dependência do gás boliviano, o Brasil precisa fazer um melhor planejamento energético a fim de tentar buscar a auto-suficiência do gás. É claro que a auto-suficiência não depende só do melhor planejamento do governo, pois as futuras descobertas de reservas de gás precisam também acompanhar o crescimento da demanda para alcançá-la. É importante lembrar também que o gás natural é uma fonte esgotável e isso traz insegurança para o futuro, pois não se sabe até quando vai existir reservas desse combustível.

## 2.5 Consumo de GN no Brasil e no Estado de SP

É importante destacar que não foram registrados aqui dados detalhados do Estado do Amazonas, pois não existe um balanço energético com informações do consumo de energia para essa localidade. Como o consumo de gás no Estado ainda é incipiente, esse valor é menor que no Estado de SP. Segundo informações obtidas pela pesquisadora durante visita à cidade de Manaus, a distribuidora do Estado terá foco inicial nas termelétricas, para depois focar o setor industrial e o automotivo.

De acordo com pronunciamentos de dirigentes da Cigás, atualmente, os maiores consumidores são as termelétricas. Espera-se que, da capacidade total dos dutos da distribuidora, 1 milhão de m<sup>3</sup>/dia serão consumidos pela indústria e por veículos e 4,5 milhões de m<sup>3</sup>/dia farão parte do consumo das termelétricas (CIGÁS [...], 2011).

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2010, a oferta interna de energia, em 2009, foi de 243,9 milhões de toneladas equivalentes de petróleo – tep. A indústria de energia no Brasil responde pelo abastecimento de 92% do consumo nacional. Os 8% restantes são importados, na forma de carvão mineral e derivados, gás natural, energia elétrica, petróleo e seus derivados.

O consumo final de energia no Brasil, em 2009, foi de 221,3 milhões de tep, montante correspondente a 90,7% da oferta interna de energia. Os setores industrial com 34,6%, transportes com 28,3% e residencial com 10,5%, responderam por 73,4% do consumo final de energia em 2009 (BEN, 2010).

O percentual da participação de cada setor no consumo final de energia no ano de 2009 é visualizado por meio do Gráfico 2.5.

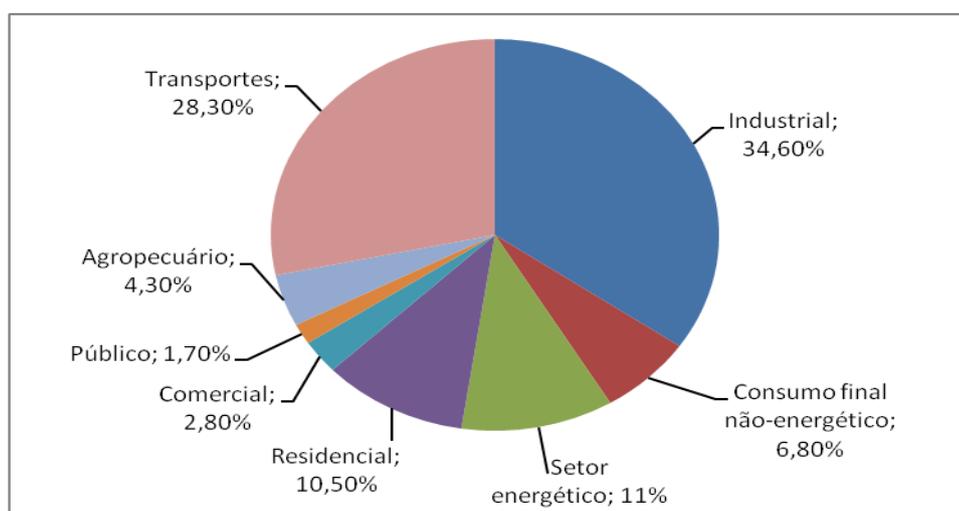


Gráfico 2.5 - Percentual do consumo final de energia por setor

Fonte: BEN (2010)

Percebe-se que o setor industrial tem um consumo de energia mais elevado que os demais setores consumidores.

Para se ter uma noção de quais energéticos são mais utilizados em todos os setores consumidores no Brasil, pesquisou-se sobre a matriz energética brasileira. Diante dos resultados dessa pesquisa, foi possível construir o Gráfico 2.6 da estrutura de consumo final de energético por fonte, no Brasil, no ano de 2009.

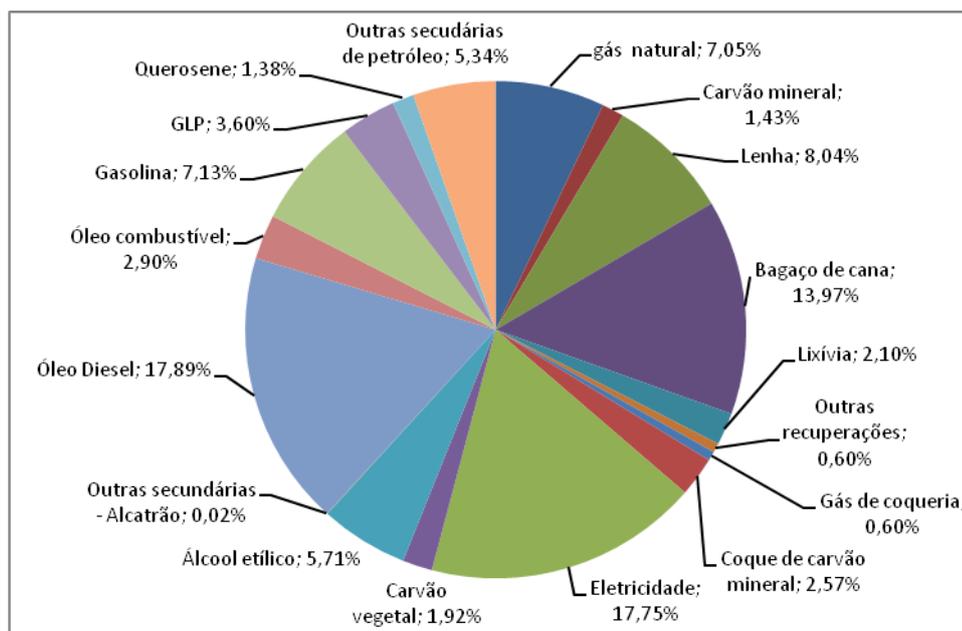


Gráfico 2.6 – Estrutura de consumo final de energético por fonte no Brasil no ano de 2009  
Fonte: BEN (2010)

Por meio da análise do Gráfico 2.6, verifica-se que a energia hidroelétrica, o óleo diesel e o bagaço de cana são os três energéticos mais utilizados no Brasil pelos diversos setores consumidores. Percebe-se que as fontes renováveis têm grande participação na matriz. Isso é devido, principalmente, à geração hidráulica e ao uso do bagaço para fins térmicos e geração de eletricidade, além do melão e caldo utilizados para a produção de etanol.

O Gráfico 2.6 também mostra que o percentual da participação do GN na matriz energética brasileira é de 7,05%. Apesar de ainda não ter alcançado a meta do plano nacional do gás natural, cujo objetivo seria aumentar de 2% para 12% a participação deste energético até 2010, o gás é uma fonte de energia que vem apresentando significativo desenvolvimento nos últimos anos.

Com relação à estrutura de consumo do setor industrial, foi obtido o Gráfico 2.7 do BEN (2010).

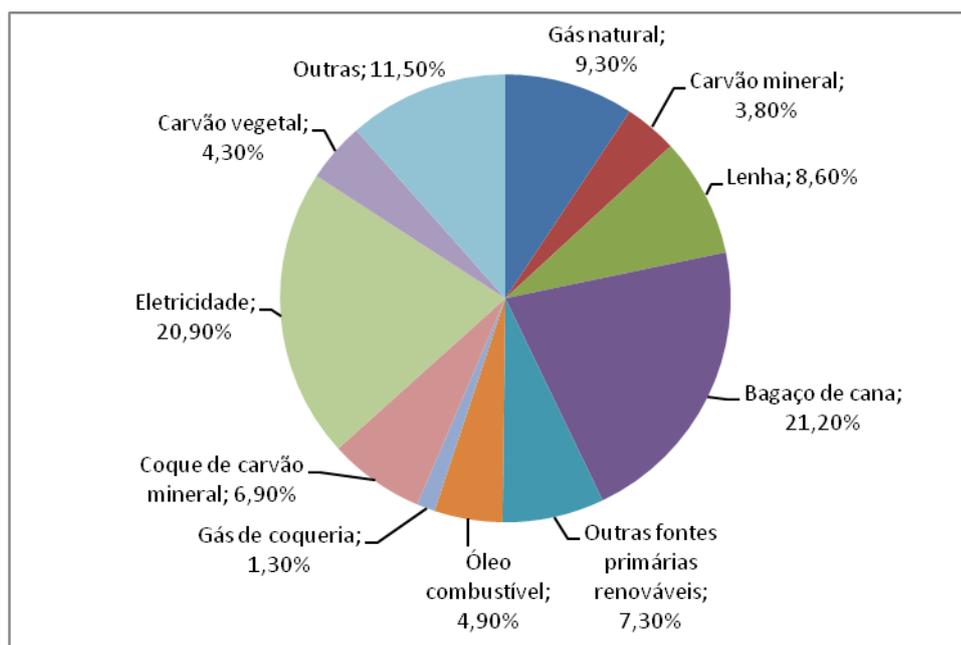


Gráfico 2.7 – Estrutura do consumo do setor industrial no Brasil em 2009  
Fonte: BEN (2010)

Percebe-se que a participação do GN na matriz energética da indústria é maior do que a participação desse energético, considerando-se todos os setores consumidores de energia.

Vale ressaltar que o setor industrial é o segmento que mais consome o gás natural. Isso pode ser verificado por meio do Gráfico 2.8, que mostra a estrutura do consumo do gás no Brasil em 2009.

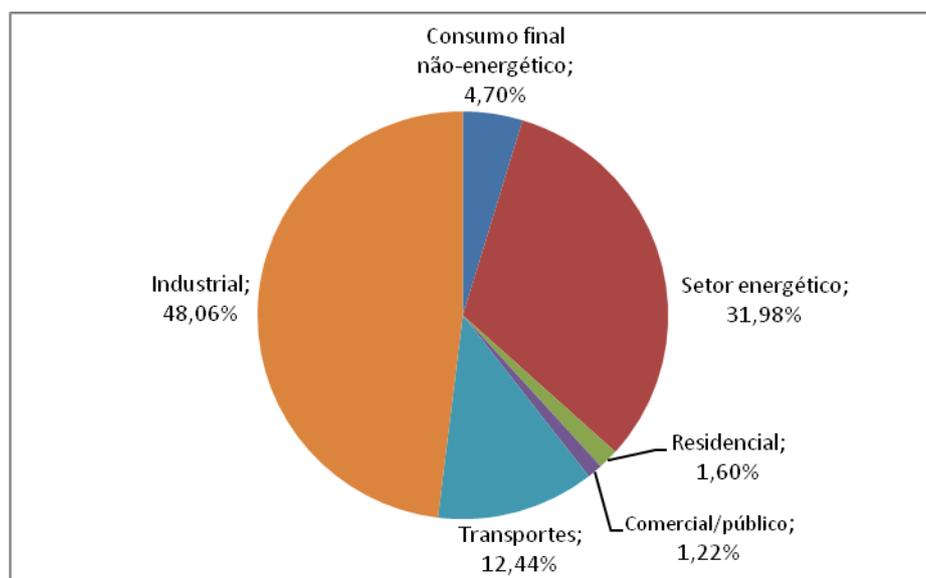


Gráfico 2.8 – Estrutura do consumo de GN no Brasil em 2009  
Fonte: BEN (2010)

A parcela do consumo industrial ilustrada pelo Gráfico 2.8 inclui o consumo em refinarias e na exploração e produção de petróleo.

Os volumes totais reinjetados e não aproveitados são relevantes. Isso demonstra que existe desperdício de grande quantidade desse energético durante sua exploração.

Como mencionado, o principal setor consumidor é o industrial, sendo expressivo o consumo para uso veicular, que teve a trajetória de crescimento da ordem de 10% a cada ano. Com registro de queda de consumo não muito expressiva nos anos de 2008 e 2009.

O Balanço Energético do Estado de São Paulo (2010) apresenta alguns dados relacionados à energia no Estado de SP.

Segundo esse balanço, a oferta interna de energia no Estado de São Paulo atingiu 90,02 milhões de tep em 2009. Com relação à utilização da oferta total de energia, a maior parte foi para o setor industrial (30,1%).

A Figura 2.2 ilustra a matriz energética paulista em 2009. Além do percentual da participação de cada energético na oferta total, são ilustrados os setores consumidores e a estrutura de consumo por setor no Estado. Os valores entre parênteses estão em  $10^3$  tep.

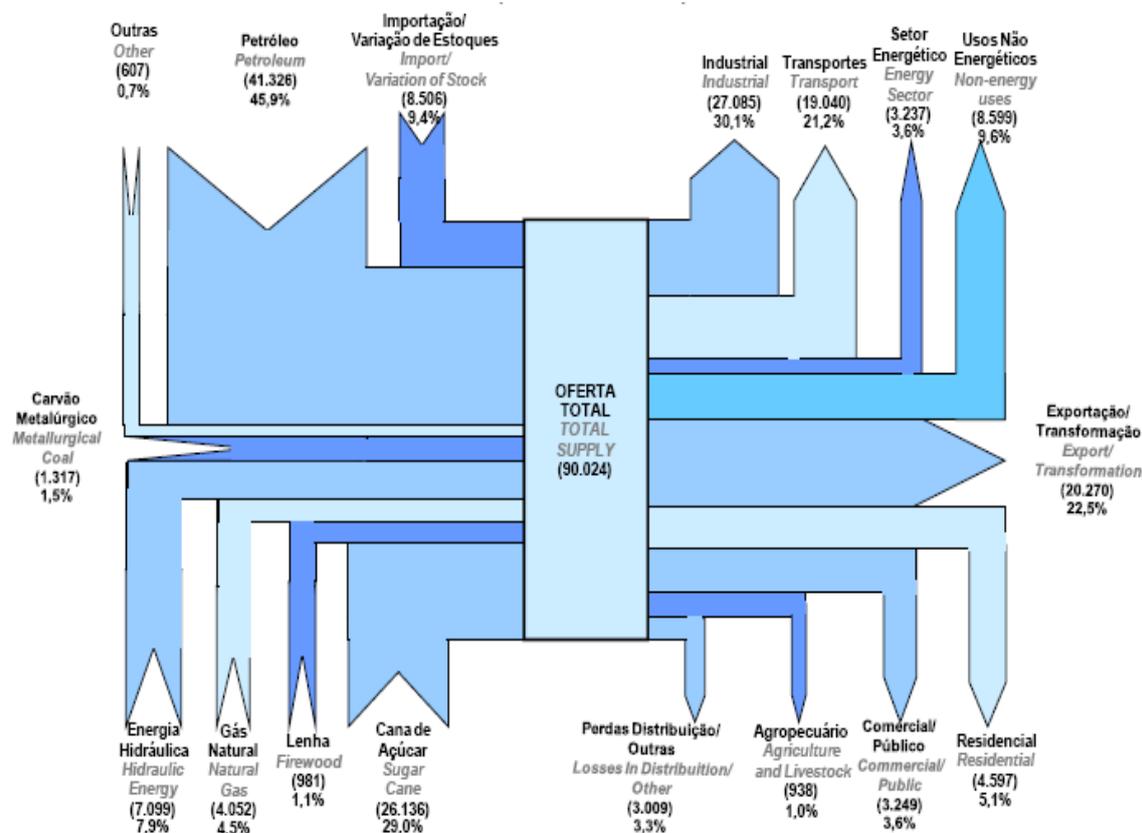


Figura 2.2 – Matriz energética paulista em 2009  
Fonte: BEESP (2010)

Verifica-se que o petróleo e derivados e a cana-de-açúcar são os energéticos mais utilizados no Estado pelos diversos setores consumidores. Percebe-se que o gás natural contribui com 4,5% na oferta interna de energia.

O Gráfico 2.9 ilustra a estrutura de consumo por energético no Estado.

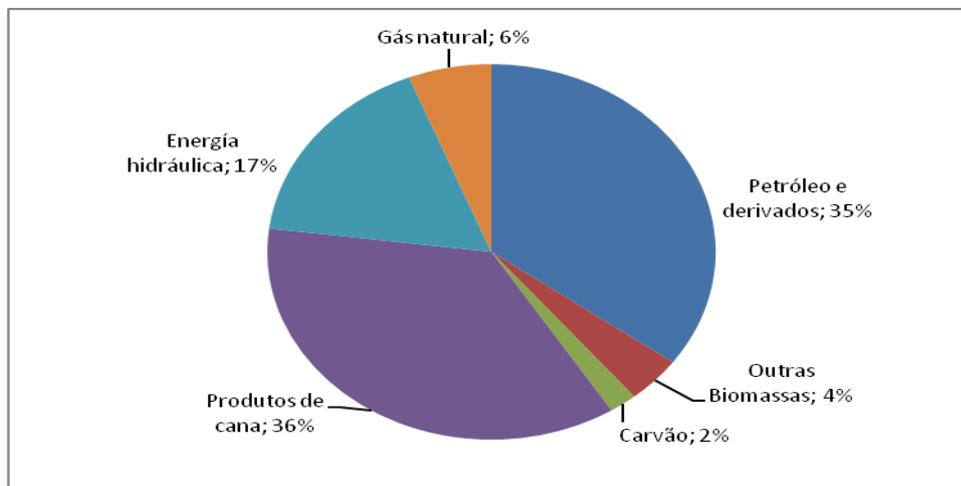


Gráfico 2.9 – Estrutura do consumo por energético em SP  
Fonte: BEESP (2010)

É importante destacar que as diferenças dos percentuais dos energéticos na oferta interna (Figura 2.2) e no consumo (Gráfico 2.9) devem-se aos volumes de importações e exportações de energia.

Como estamos discutindo no presente trabalho o consumo de GN no setor industrial, é importante mostrar a estrutura de consumo de energéticos do setor industrial do Estado de SP no ano de 2009. Essa informação é apresentada no Gráfico 2.10.

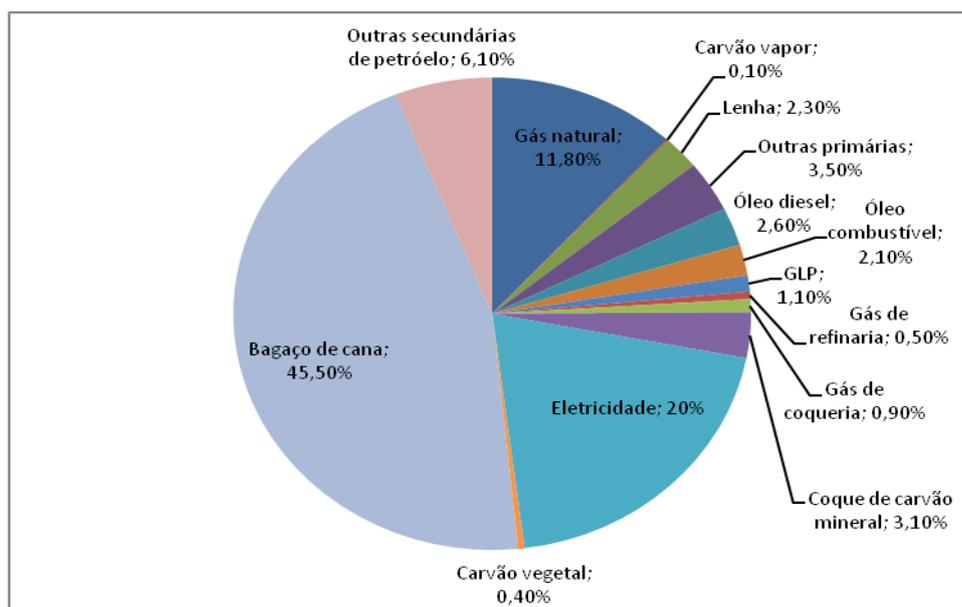


Gráfico 2.10 – Estrutura do consumo de energia no setor industrial do Estado de SP no ano de 2009  
Fonte: Balanço Energético do Estado de São Paulo (2010)

Verifica-se que a participação do GN na matriz energética da indústria paulista é de 11,80%. Esse valor está acima da participação nacional de 9,30%, como destacado pelo Gráfico 2.7.

Vale destacar pelo Gráfico 2.10 que o GN é o terceiro energético mais usado na indústria.

De acordo com os dados do BEESP (2010), o gás natural vem aumentando sua participação no setor industrial do Estado de São Paulo. Isso se deve principalmente às substituições de caldeiras e fornos industriais movidos, originalmente, por óleo combustível.

Ao comparar o consumo final de gás natural no setor industrial do Estado de São Paulo com os demais setores, é possível verificar que a indústria representa 84% do consumo desse energético, enquanto os outros setores representam 16%. Pode-se concluir que o maior consumidor do gás natural no Estado de São Paulo é a indústria (Gráfico 2.11).

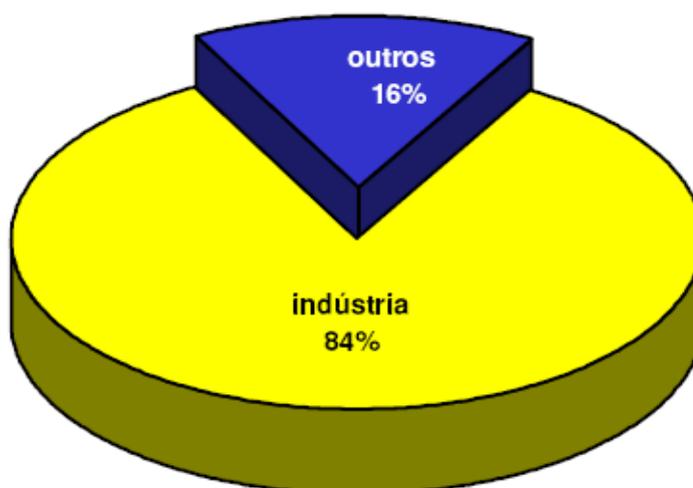


Gráfico 2.11 - Estrutura do consumo final de gás natural no ano de 2009  
Fonte - BEESP (2010)

A Tabela 2.3 mostra a oferta e demanda de gás natural nos diversos setores consumidores desse energético no Estado de São Paulo no período 2000-2009.

Tabela 2.3 – Oferta e Demanda de Gás Natural no Estado de São Paulo em  $10^6\text{m}^3$ Unidade:  $10^6\text{m}^3$ 

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Produção	324	344	394	388	383	380	357	324	242	218
Importação Estadual	1361	1936	2636	3128	3720	4385	4970	5369	5798	4778
Perdas Distr. Armazenagem	-47	-37	-59	-16	-24	-25	-28	-30	-32	-26
Oferta Bruta	1638	2243	2971	3500	4079	4740	5299	5663	6008	4970
Total da Transformação	92	311	435	246	183	350	272	270	636	370
Centrais Elét. Serviço Público	49	221	331	133	75	148	64	51	327	58
Centrais Elétr. Autoprodução	43	90	104	113	108	202	208	219	309	312
Consumo Final	1546	1932	2536	3254	3896	4390	5027	5393	5372	4600
Residencial	73	73	82	94	107	110	119	124	141	149
Comercial	57	54	62	73	80	98	102	101	104	101
Público	0	8	9	9	18	21	23	24	25	21
Transportes	64	112	199	346	407	479	571	617	565	399
Rodoviário	64	112	199	346	407	479	571	617	565	399
Industrial	1352	1685	2184	2732	3284	3682	4212	4527	4537	3930
Cimento	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ferro Gusa e Aço	243	277	275	311	350	472	558	516	552	588
Química	455	391	414	447	522	880	904	1001	985	838
Alimentos e Bebidas	93	197	192	190	211	276	337	406	427	313
Têxtil	62	101	95	94	103	165	201	188	190	159
Papel e Celulose	122	194	299	340	396	453	515	585	612	392
Cerâmica	69	145	348	381	419	563	583	645	706	594
Outros (*)	307	380	561	969	1283	873	1114	1186	1065	1046

Fonte - BEESP (2010)

É possível verificar, com a Tabela 2.3, que a oferta e a demanda de gás natural no Estado de São Paulo vêm crescendo a cada ano e que a indústria química é a que mais consome dentre as demais indústrias. É interessante destacar que o volume de GN consumido no setor industrial foi  $3.930 \times 10^6\text{m}^3$  em 2009 e que a indústria química consumiu sozinha  $838 \times 10^6\text{m}^3$ , ou seja, 21,32% de todo o GN destinado às indústrias em 2009.

Vale lembrar que o ano de 2009 foi caracterizado pelas consequências oriundas da crise econômica norte-americana que se abateu sobre o sistema financeiro e hipotecário daquele país, resultando em uma diminuição na produção de todo o mundo, refletindo sobre as estruturas econômicas, energéticas e sociais vigentes.

Para fazer uma comparação do Estado de SP com o Brasil, a Tabela 2.4 mostra a oferta e demanda de gás natural nos diversos setores consumidores desse energético no país no período 2000-2009.

Tabela 2.4 – Oferta e Demanda de Gás Natural no Brasil em 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>

FLUXO	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
PRODUÇÃO	13.283	13.998	15.525	15.792	16.971	17.699	17.706	18.152	21.593	21.142
IMPORTAÇÃO	2.211	4.608	5.369	5.055	8.086	8.998	9.789	10.334	11.348	8.543
VAR. EST. PERDAS E AJUSTES <sup>1</sup>	-5.403	-5.777	-5.839	-4.906	-5.619	-5.719	-5.458	-5.526	-6.105	-8.063
CONSUMO TOTAL	10.091	12.829	15.055	15.941	19.438	20.978	22.037	22.960	26.836	21.621
TRANSFORMAÇÃO	2.126	3.579	3.783	3.753	5.773	5.934	5.957	5.721	8.284	4.693
PRODUÇÃO DE DERIVADOS PETROL.	1.150	1.250	772	848	1.169	1.429	1.798	2.156	1.856	1.761
GERAÇÃO ELÉTRICA	976	2.329	3.011	2.905	4.603	4.505	4.158	3.565	6.427	2.931
CONSUMO FINAL	7.965	9.250	11.272	12.188	13.665	15.044	16.080	17.239	18.552	16.929
CONSUMO FINAL NÃO-ENERGÉTICO	831	796	621	791	838	849	863	877	807	795
CONSUMO FINAL ENERGÉTICO	7.134	8.452	10.451	11.397	12.827	14.195	15.217	16.362	17.745	16.134
SETOR ENERGÉTICO	2.278	2.419	2.722	2.938	3.168	3.500	3.712	4.013	5.227	5.414
RESIDENCIAL	114	140	154	196	206	217	236	251	260	271
COMERCIAL/PÚBLICO	86	180	250	275	299	321	364	377	197	204
TRANSPORTES	313	572	980	1.328	1.580	1.945	2.307	2.559	2.453	2.106
RODOMÁRIO	313	572	980	1.328	1.580	1.945	2.307	2.559	2.453	2.106
INDUSTRIAL	4.343	5.141	6.343	6.658	7.572	8.209	8.595	9.149	9.605	8.137
CIMENTO	56	27	32	16	23	19	20	28	29	17
FERRO-GUSA E AÇO	832	835	1.023	1.035	1.064	1.265	1.255	1.379	1.316	985
FERRO-LIGAS	0	0	0	1	1	2	2	33	2	2
MINERAÇÃO E PELOTIZAÇÃO	161	322	207	217	260	306	296	264	484	272
NÃO-FERROSOS E OUTROS DA METALURGIA	168	185	317	372	514	557	600	718	767	748
QUÍMICA	1.423	1.555	1.853	1.876	2.344	2.454	2.541	2.520	2.640	2.002
AUMENTOS E BEBIDAS	257	306	462	491	558	581	635	667	661	635
TÊXTIL	195	211	270	300	339	372	379	423	366	327
PAPEL E CELULOSE	310	448	452	484	521	590	636	678	578	692
CERÂMICA	296	489	803	896	872	944	1.024	1.091	1.144	1.137
OUTROS	645	763	924	970	1.076	1.119	1.208	1.348	1.619	1.322

Fonte - BEN (2010)

É possível verificar, com a Tabela 2.4, que a oferta e a demanda de gás natural no Brasil também vêm crescendo a cada ano e que a indústria química também é a que mais o consome entre as demais. O volume de GN consumido em todo o setor industrial foi  $8.137 \times 10^6 \text{m}^3$  em 2009, e a indústria química consumiu  $2.002 \times 10^6 \text{m}^3$ , ou seja, 24,60% de todo o GN destinado às indústrias em 2009.

## 2.6 Preços

A formação de preço do gás natural fica numa faixa bem definida. O limite inferior é fixado pelo custo de produção, transporte e distribuição, acrescidos das margens de remuneração do capital investido e os devidos impostos que incidem sobre o gás. O custo de oportunidade do energético substituído pelo gás por unidade de conteúdo energético útil estabelece o limite superior. Como o gás é um forte substituto dos derivados de petróleo, o preço fica encapsulado por uma cesta desses derivados. Em mercados onde se configura concorrência, há uma tendência de o preço permanecer perto do limite inferior. Já em monopólios, ele fica perto do limite superior, acarretando perda de renda para a sociedade como um todo (OLIVEIRA & BAJAY, 2005, p.4).

A Petrobras, sendo o principal *player* na área de refino e, também, o principal produtor e importador de gás, fica num conflito interno, pois, havendo uma política de preços de priorização do gás natural, haverá excesso de oferta dos derivados de petróleo. Como o mercado de derivados é mais estável e desenvolvido do que o do gás natural, certamente há uma tendência para se manter o preço do gás perto do limite superior, limitando fortemente substituições mais substanciais (OLIVEIRA e BAJAY, 2005).

O preço do gás natural vendido às distribuidoras é composto, fundamentalmente, por duas parcelas: uma referida como “preço na boca do poço”, destinada a remunerar o produtor; e outra, denominada tarifa de transporte, destinada ao serviço de movimentação do gás entre as áreas de produção e consumo. Até dezembro de 2001, o preço do gás natural de origem nacional foi regulamentado pela Portaria Interministerial MME/MF 003/2000. O valor determinado era o somatório das duas parcelas mencionadas, sendo a tarifa de transporte calculada pela ANP (ANP, 2006).

Já para o gás natural importado, o preço de venda às distribuidoras locais e as tarifas de transporte vêm sendo negociados livremente entre distribuidoras locais e distribuidora da Bolívia.

### 2.6.1 Tarifas de transporte

As tarifas pagas ao transportador podem ser classificadas em duas grandes categorias: as chamadas “tarifas postais” e as tarifas que provêm sinais locais. As tarifas postais não consideram a distância entre o consumidor final e o produtor, ao contrário do que ocorre no critério locacional. As tarifas postais são características de mercados monopolizados e criam subsídios cruzados, que ajudam a desenvolver mercados mais distantes dos centros produtores. Já as tarifas que sinalizam critérios locais reduzem esses subsídios e fomentam o desenvolvimento de mercados mais próximos dos campos. As tarifas de transporte têm que cobrir custos fixos e variáveis desta atividade, em geral expressos explicitamente na estrutura tarifária. Os

primeiros contemplam gastos com a construção e manutenção da capacidade de transporte, enquanto que os últimos se referem ao custeio dos volumes transportados (OLIVEIRA e BAJAY, 2005, p.4).

Existem, também, dois tipos de serviço de transporte de gás natural por gasodutos. O Serviço de Transporte Firme (STF) e o Serviço de Transporte Interruptível (STI). No serviço firme, o usuário contrata uma reserva de capacidade no gasoduto e passa a ter o direito de movimentar um volume diário de gás limitado por essa capacidade. O serviço interruptível depende da ociosidade de capacidade no gasoduto (ANP, 2009).

Com a regulamentação da lei do gás em dezembro de 2010, espera-se abrir novas oportunidades para investimentos no setor, no país. A lei permite a existência de autoimportador e autoprodutor, garantindo que o investidor não precise pagar um valor para a distribuidora levar gás para ele. Com isso, o investidor pode importar GNL, regaseificar e colocar na sua térmica, reduzindo os custos.

Além disso, a lei permite concessões para construção de gasodutos e estabelece um prazo máximo de dez anos para a exclusividade de uso de gasodutos novos no país. Dessa forma, a lei acabará com a exclusividade da Petrobras no setor, possibilitando mais opções de preço para ter acesso aos gasodutos.

## **2.7 Gasodutos que transportam gás para os Estados de SP e AM**

### **2.7.1 Gasoduto Urucu-Coari-Manaus**

O primeiro campo comercial de óleo e gás natural da Amazônia brasileira (Rio Ururu) foi descoberto em 1986, na bacia do rio Solimões. Essa primeira descoberta motivou a perfuração de outros poços, que constituíram a província petrolífera do rio Urucu, localizada a aproximadamente 650 Km da capital de Manaus e a 285 Km do município de Coari (CARTAXO, 2006). Essas descobertas estimularam investimentos na infra-estrutura da indústria do gás da região podendo-se destacar a construção do gasoduto Urucu-Coari-Manaus.

Apesar do uso do gás no Estado do AM ainda ser incipiente, é importante salientar que o Estado possui grande quantidade de recursos naturais, os quais, sem dúvida, requerem energia para movimentação de máquinas e equipamentos, bem como a operação de processos térmicos, necessários para o beneficiamento dos recursos.

Diante disso, pode-se afirmar que o Estado possui perspectivas favoráveis para uma crescente demanda de gás natural.

O gasoduto Urucu-Coari-Manaus, destinado ao transporte de gás natural no Amazonas, é uma obra que viabiliza o consumo do energético no Estado. Vale lembrar que o gasoduto Urucu-Coari-Manaus possui 661 quilômetros de extensão e tem o objetivo de inicialmente abastecer a capital do Amazonas com 4,1 milhões de metros cúbicos de gás por dia. Essa energia é suficiente para abastecer a cidade e outros sete municípios atravessados pelo traçado do gasoduto (GASODUTO [...], 2009).

O gasoduto Urucu-Coari-Manaus foi inaugurado no dia 26 de novembro em um evento realizado na Refinaria Isaac Sabbá (Reman), em Manaus. A princípio, o gás natural produzido no Amazonas servirá, principalmente, para a geração de energia elétrica em Manaus, que hoje é atendida por usinas termelétricas movidas a óleo combustível e óleo diesel. Com o gasoduto Urucu-Coari-Manaus, as termelétricas poderão ser convertidas para utilizar gás natural (GASODUTO [...], 2009).

### **2.7.2 GASPAL (Gasoduto Rio de Janeiro/São Paulo)**

Duto para transporte de gás natural, de 22' entre Guarararema e a Refinaria de Capuava (RECAP), com 60,5 km, em operação desde 1988 (ANP, 2009).

### **2.7.3 GASAN (Gasoduto Santos-SP)**

Duto de 12' de gás natural entre a Refinaria Presidente Bernardes de Cubatão (RPBC) e a Refinaria de Capuava (RECAP), com 37,0 km de extensão, em operação desde 1993 (ANP, 2009).

### **2.7.4 GASBOL (Gasoduto Brasil-Bolívia)**

O principal gasoduto que atende o Estado de São Paulo é o gasoduto Brasil-Bolívia.

O gasoduto Brasil-Bolívia (GASBOL) é o projeto mais extenso na América Latina, compreendendo os dois países, Brasil e Bolívia, com extensão total de 3.150 km, sendo 557 Km em trecho boliviano e 2.593 Km em trecho brasileiro. O gasoduto inicia no Rio Grande (Bolívia), vai até Puerto Suarez (Bolívia), entrando no território brasileiro via Corumbá (MS). Atravessa o Mato Grosso do Sul e norte de São Paulo, chegando a Paulínia onde ocorrem duas ramificações. Uma com destino a Guararema (SP) interligando o gasoduto Rio de Janeiro – São Paulo, e a outra ramificação segue de Paulínia, São Paulo até Canoas, Rio Grande do Sul, passando pelo Paraná e Santa Catarina (SCANDIFFIO, 2001, p.70).

Ao mesmo tempo em que foi confirmada a disponibilidade de gás natural vinda da Bolívia, tomaram-se as providências para assinatura dos contratos na modalidade “*take or pay*” com as empresas de gás que iriam distribuir o produto, de forma a garantir o mercado antes de se tornar irreversível o empreendimento (ALONSO, 2004).

Vale ressaltar, que, além de estudos para avaliar a viabilidade técnico-econômica da construção do gasoduto Brasil-Bolívia, houve também vários estudos para avaliar a importação de gás natural na forma liquefeita – GNL – e todos se mostraram mais custosos do que a importação da Bolívia. Projetos modulares e de grande porte foram analisados para trazer GNL da Argélia e outros países. O custo estimado de instalações de transporte, de armazenamento, de vaporização, as perdas e os custos operacionais sempre inviabilizaram os projetos.

Do custo total do projeto do gasoduto Brasil-Bolívia, cerca de US\$ 2 milhões, 20% foram investidos do lado boliviano e o restante do lado brasileiro. Do investimento total, a PETROBRAS captou 82% dos recursos por meio de agências multilaterais e de crédito à exportação, além de uma participação expressiva do BNDES (SILVA, 2004, p.49).

Antes da entrada em operação comercial do GASBOL, em 1999, o cenário de incerteza na oferta não motivava a alteração do perfil da demanda energética nacional em favor do gás. Diante da elevação das reservas bolivianas e da capacidade de transporte, as incertezas de oferta foram superadas (SILVA, 2004).

Com isso, o desenvolvimento do mercado passou a depender exclusivamente do crescimento da demanda. Esse crescimento teve determinantes variáveis ao longo do tempo. Inicialmente, as projeções utilizadas para o projeto do gasoduto Brasil-Bolívia apontavam para o uso industrial como âncora para o desenvolvimento da demanda. Isso demandaria investimentos em redes de distribuição e financiamento de equipamentos para substituir os equipamentos utilizados em processos à base de óleo combustível. Quase dez anos depois das primeiras projeções, o aumento do risco de falha no suprimento de energia e os avanços tecnológicos em termogeração despertaram o interesse para o uso termelétrico do gás. No entanto, os elevados riscos comerciais, além de regulatórios, emperram os investimentos em plantas desse tipo (SILVA, 2004).

É importante destacar que, recentemente, ocorreu uma crise política na Bolívia, que inviabilizou ainda mais os investimentos em termelétricas. Com essa crise política no mês de junho de 2005, houve ameaças de desabastecimento de gás natural no Brasil. A população boliviana reivindicou a nacionalização dos campos de gás do seu país, que são exploradas por empresas estrangeiras, entre elas a Petrobras.

O problema levou o Brasil a antecipar projetos que diminuiriam a dependência do gás vindo da Bolívia. Entre os principais alvos dos projetos estavam o campo de Mexilhão, na Bacia de Santos, cujo início de produção seria antecipado de 2010 para 2008. O campo de Golfinho, no Espírito Santo, começaria a produzir, no ano de 2006, 2,5 milhões de metros cúbicos de gás natural por dia. O campo de Peroá e Cangoá, também na bacia do Espírito Santo, já está produzindo 2,5 milhões de metros cúbicos diários e, no ano de 2006, a produção seria expandida para 5,5 milhões (CTGÁS, 2005). O grande problema da maioria dos projetos seria a longa maturação, e isso dificultaria resultados de curto prazo.

Além dos projetos que poderiam diminuir a dependência do gás boliviano, houve também planos de contingência para amenizar os danos causados por uma eventual interrupção no fornecimento. A idéia principal desses planos, segundo matéria publicada na página do CTGÁS em 2005, seria reduzir, antes de qualquer coisa, o consumo de gás das refinarias da estatal e de termelétricas.

Diante da iminência de escassez provocada pela crise boliviana, a Petrobras colocou no mercado mais 3 milhões de metros cúbicos de gás natural. Para isso, a estatal deslocou para o consumo 1 milhão de metros cúbicos de gás natural, que antes eram reinjetados aos poços de petróleo. Os outros 2 milhões de metros cúbicos vieram das plataformas P-43 e P-48, localizadas na Bacia de Campos. Com todas essas medidas, seria possível disponibilizar gás suficiente para manter o abastecimento de gás natural veicular (GNV) no Rio de Janeiro, por exemplo (CTGÁS, 2005).

No ano de 2006, a situação do Brasil ficou mais difícil, pois até então o que seriam ameaças se tornou realidade, pois a Bolívia decidiu nacionalizar todos os seus recursos naturais e essa decisão colocava em risco o abastecimento de gás boliviano pelo Brasil. A decisão do governo boliviano trouxe muita insegurança principalmente para os empresários do setor industrial. Dentre todos os setores consumidores do gás natural, o setor industrial é o que teria mais dificuldade para adaptar a outro energético, pois as empresas fizeram grandes investimentos para trocar os equipamentos antigos por equipamentos a GN. Portanto, para esses consumidores industriais voltarem a usar o energético substituído, seria necessário adquirir novos equipamentos, o que poderia levar muitas empresas à falência. Para os usuários GNV (Gás Natural Veicular), isso não traria tantos problemas, pois eles precisariam fazer uma pequena adaptação no sistema e rapidamente voltariam a usar o antigo combustível.

Depois da nacionalização, houve várias discussões a respeito do preço do gás boliviano. Inicialmente, a proposta da Bolívia para o Brasil era de um reajuste com o preço de US\$ 8 por milhão de BTU, o que seria inviável, culminando com a suspensão do consumo do energético pela indústria das regiões Sul e Sudeste (BRITO & GUIMARÃES, 2006).

É importante destacar que o preço do gás vendido no Brasil é regido pelo contrato GSA (Acordo de Fornecimento de Gás, na sigla em inglês), assinado em agosto de 1996 e válido até 2019. Tal acordo prevê somente um reajuste trimestral dos preços tendo como referência uma cesta de óleos combustíveis (PETROBRAS, 2006).

A Petrobras e a estatal boliviana, Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) negociaram as mudanças no contrato de compra de gás pelo Brasil com a determinação da nacionalização do gás e petróleo.

Toda essa incerteza sobre o fornecimento do gás boliviano a partir de maio de 2006 e os aumentos sucessivos do gás verificados desde o quarto trimestre de 2005 provocaram mudanças, principalmente nas fabricantes de caldeiras, que registraram retração dos pedidos de equipamentos a gás em 2006. Porém, na opinião de Alberto Crespo – diretor de marketing e vendas da fabricante dinamarquesa Aalborg –, apesar desses problemas, o gás continuará sendo muito demandado, pois assegura mais qualidade aos produtos e é um combustível ambientalmente mais amigável (NOGUERIA, 2006).

Com o objetivo de ter uma visão ampla das distribuidoras de gás dos Estados estudados, será apresentado no item seguinte um panorama da linha de distribuição de cada empresa responsável pela distribuição desse insumo.

## **2.8 Distribuidoras de gás do Estado de São Paulo e do Amazonas**

### **2.8.1 Gas Brasileiro GBD**

A Gas Brasileiro GBD, companhia controlada pelas empresas ENI International B.V. e Italgas (Grupo ENI), responde pela distribuição e tecnologia de gás natural em toda a área noroeste do Estado de São Paulo, em função do Contrato de Concessão firmado em dezembro de 1999, com a ARSESP – Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo (GAS BRASILIANO, 2010).

Numa primeira fase de implantação, a Gas Brasileiro GBD contempla sistemas de distribuição de gás canalizado, a partir das ETC's (Estação de Transferência de

Custódia) do gasoduto Bolívia-Brasil, localizadas nas cidades de Bilac, Boa Esperança do Sul e São Carlos, a fim de abastecerem os segmentos de mercado consumidores (GAS BRASILIANO, 2010).

Pretendia-se, por meio da concepção do projeto de distribuição de gás natural para a área noroeste do Estado de São Paulo, distribuir cerca de 1,5 milhões m<sup>3</sup>/dia para a área de concessão da distribuidora. Vale destacar que a Gas Brasileiro GBD conta com mais de cento e cinquenta quilômetros de tubulações projetadas (GAS BRASILIANO, 2010).

Os mercados que a Gas Brasileiro GBD atende são os residenciais, comerciais, industriais, automotivos, co-geração e termelétricidade.

### **2.8.2 Gas Natural SPS**

Em 26 de abril de 2000, a empresa Gas Natural SPS (São Paulo Sul S/A) ganhou a licitação convocada pela Comissão de Serviços Públicos de Energia (CSPE) do Estado de São Paulo, para outorga de concessão para a exploração de serviços de distribuição de gás canalizado na área sul do referido Estado (GAS NATURAL SPS, 2010).

A zona adquirida tem a extensão de 53.000 Km<sup>2</sup>, com uma população em torno de 2,7 milhões de habitantes e que compreende 93 municípios entre as regiões administrativas de Sorocaba e Registro (GAS NATURAL SPS, 2010).

Os mercados que a Gas Natural SPS atende são os residenciais, comerciais, industriais, automotivos, co-geração e termelétricidade.

Além disso, a Gas Natural São Paulo Sul se tornou pioneira no transporte de Gás Natural Comprimido (GNC) no Estado. Vale destacar que o GNC permite a chegada de GN em lugares distantes do gasoduto.

### **2.8.3 Comgás**

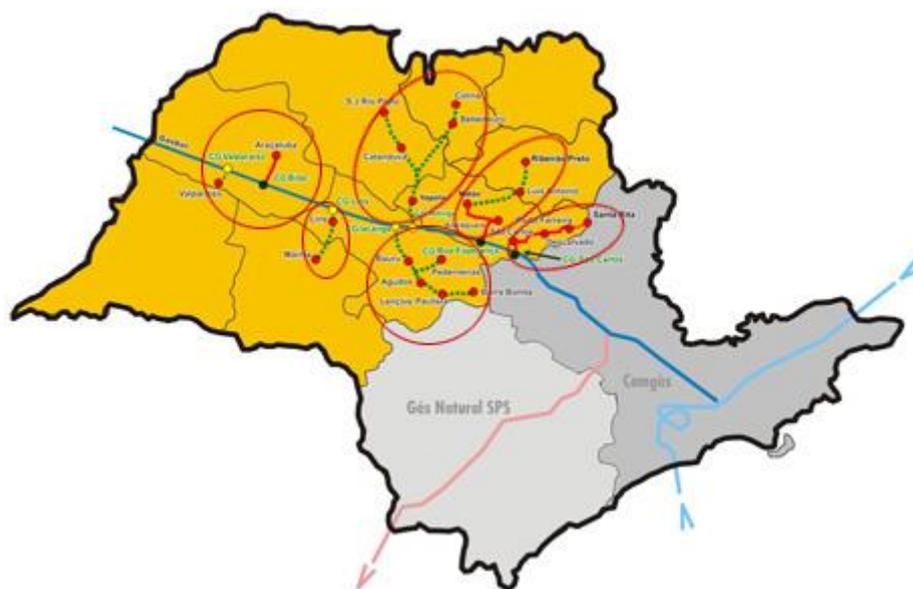
A Comgás (Companhia de Gás de São Paulo) iniciou uma nova fase da sua história em 31 de maio de 1999, quando foi assinado, no Palácio dos Bandeirantes, em São Paulo, o contrato de concessão para distribuição de gás natural na região metropolitana de São Paulo, Vale do Paraíba, Baixada Santista e Campinas. As controladoras da Comgás - a BG International (mais conhecida como British Gas) e a Shell - terão contrato válido até 2029 (COMGÁS, 2010).

Desde 1999, os investimentos feitos pela Comgás, o Grupo BG e a Shell investiram cerca de R\$ 2 bilhões na modernização e expansão da rede de distribuição de gás, que foi ampliada em mais de 2 mil km (COMGÁS, 2010).

A Comgás é hoje a maior distribuidora de gás natural canalizado do país. Conta com mais de 5 mil quilômetros de rede, levando gás natural para mais de 780 mil consumidores nos segmentos residencial, comercial e industrial, em 67 cidades. Sua área de concessão abriga cerca de um quarto do Produto Interno Bruto do país, abrangendo 177 municípios das regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas, além da Baixada Santista e do Vale do Paraíba (COMGÁS, 2010).

Em 2008, a empresa investiu mais de R\$ 400 milhões em sua área de expansão. O volume de gás distribuído pela companhia nesse ano foi de 5,25 bilhões de metros cúbicos, alta de 3,6% em relação a 2007 (COMGÁS, 2010).

A Figura 2.3 apresenta a área de concessão das 3 distribuidoras do Estado de SP.



**Legenda:**

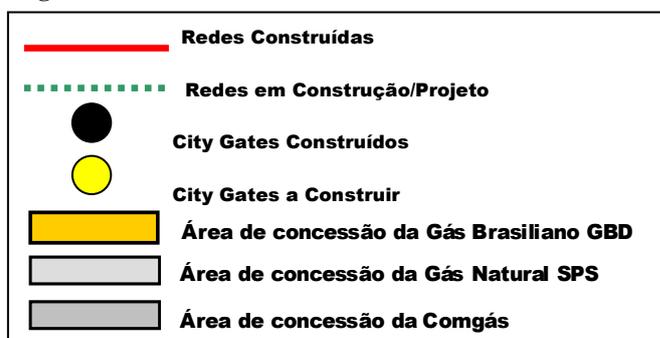


Figura 2.3 – Área de Concessão da Comgás, Gas Brasileiro GBD e Gas Natural SPS  
Fonte: Gas Brasileiro GBD (2010)

Com a Figura 2.3, vê-se que a área de concessão das três distribuidoras engloba todo o Estado de São Paulo.

#### 2.8.4 Cigás

A Cigás (Companhia de Gás do Amazonas) é a responsável pela distribuição do gás natural no Estado do Amazonas. Foi criada pela lei 2.325 de 8 de maio de 1995 (CIGÁS, 2010).

A Cigás é uma empresa de capital misto, controlada pelo Estado do Amazonas, e tem concessão para distribuir 5,5 milhões de metros cúbicos/dia, por 20 anos (LOBATO & BRASIL, 2009).

A Cigás foi criada com o objetivo de atender os mercados comercial, industrial, automotivo, co-geração e termoeletricidade.

Em Manaus, a Cigás atende o parque termoelétrico com a meta de substituir o uso do óleo combustível.

A malha de distribuição da Cigás está ilustrada pela Figura 2.4.



Figura 2.4 – Malha de distribuição da Cigás  
Fonte: Cigás (2010)

É importante salientar que parte da rede de distribuição da Cigás ainda está em fase de construção.

## **2.9 Diversificações do uso do GN na indústria**

De acordo com CNI (1989), serão apresentados a seguir os diversos usos diretos e indiretos do gás natural.

### **2.9.1 Uso direto do GN na indústria**

A qualidade do gás natural como combustível impulsionou o desenvolvimento de várias técnicas para a sua utilização e de inovações tecnológicas em muitos equipamentos – em particular queimadores – e processos, o que resultou em maiores rendimentos, economia substancial de energia e menor poluição.

- **Aquecimento dos líquidos**

O aquecimento dos banhos industriais a baixa temperatura continua a ser feito pela utilização de um fluido intermediário, geralmente o vapor a uma pressão de 4 a 18 bars, produzido em caldeiras aquecidas a gás, óleo combustível ou eletricidade. O gás natural começou há poucos anos a substituir o vapor no aquecimento descentralizado de líquidos industriais, por meio de técnicas específicas como a da combustão submersa ou dos trocadores submersos.

Na técnica do trocador submerso, implantada a partir de 1978, a troca de calor é feita por intermédio de tubos e chapas pelos quais transitam os gases de combustão. Nesse caso não há contato direto dos gases com o líquido. Existem, atualmente, várias aplicações industriais entre as quais o tratamento de superfícies metálicas (banhos de decapagem, niquelagem, cromagem etc.), a indústria agroalimentar (lavagem de garrafas, abatedouros, conservas, aquecimento de estufas e outras) e indústria têxtil (aquecimento de banhos de tintura, lavagem de fibras).

- **Secagem de tintas e produtos industriais por painéis radiantes catalíticos**

Os painéis radiantes catalíticos são aparelhos emissores de radiações infravermelhas, aquecidos com gás natural. O elemento emissor é constituído de material refratário impregnado de catalisadores que permitem a oxidação, sem chama, do gás natural.

Esses painéis são usados principalmente para:

- Secagem e polimerização de tintas e vernizes, em várias indústrias e, sobretudo na indústria automobilística;

- Secagem e tratamento de papel, tecidos (termofixação) e produtos alimentares.

- **Tratamento térmico sob atmosfera controlada com tubos radiantes auto-recuperadores a gás**

Para esse tipo de tratamento, os produtos devem ser mantidos fora do contato com as chamas e os gases de combustão; os tubos radiantes são queimadores a gás fechados, impermeáveis, nos quais se opera a combustão.

Esses tubos usam um recuperador que aproveita o calor dos gases queimadores para o aquecimento do ar de combustão; isto aumenta o rendimento, que passa de uma faixa de 45 a 50% para uma faixa de 75 a 80%.

Os tubos podem ser instalados em fornos novos ou usados e permitem uma economia de energia de 30 a 40%. São empregados em vários tipos de atividades industriais, tais como:

- Tratamento térmico sob atmosfera (cimentação, carbonitrogenação);
- Esmaltagem.

- **Aquecimento direto a alta temperatura com os queimadores auto-recuperadores**

Enquanto os tubos radiantes são equipamentos de aquecimento indireto, os queimadores auto-recuperadores são usados para aquecimento direto com temperaturas de mais de 900°C, nas áreas de metalurgia ferrosa e não ferrosa e nas indústrias de vidro e de cerâmica.

Um queimador auto-recuperador é constituído de um bloco compacto que é, ao mesmo tempo, fonte de calor, recuperador de calor e exaustor dos produtos da combustão, tudo isso se processando fora do forno.

Os produtos da combustão são aspirados numa passagem anular e transitam no recuperador a contracorrente do fluxo do ar de combustão que é aquecido. Isso reduz sensivelmente o consumo de gás.

Vários fatores contribuem para a redução do consumo de energia:

- A recuperação de energia pelo aquecimento do ar de combustão;
- Homogeneidade da temperatura no forno, o que reduz o tempo de permanência das peças no forno e as perdas por oxidação;

- Temperatura de chama maior, o que torna melhor a transferência de calor para as peças.

As áreas de aplicação são:

- Forja e estamparia;
  - Reaquecimento de metais não ferrosos;
  - Fusão de metais não ferrosos;
  - Tratamento térmico direto;
  - Fusão do vidro;
  - Cozimento de produtos cerâmicos etc.
- **Aquecimento direto a alta temperatura com os queimadores tipo “JET” que permitem uma maior velocidade**

Os queimadores “JET” são caracterizados por uma grande velocidade de saída dos gases de combustão (100 a 200 m/s), o que provoca um forte acréscimo da troca de calor por convecção, devido à turbulência criada na atmosfera do forno. Isso tem a vantagem de propiciar um aquecimento rápido e homogêneo das peças de formas complexas e irregulares.

Os queimadores do tipo “JET” são usados, basicamente, nas seguintes aplicações:

- Tratamento térmico de peças de aço (recozimento entre 550 e 900°C);
- Pré-aquecimento de panelas de fundição;
- Secagem e cozimento de produtos cerâmicos em fornos túnel de carregamento denso, onde a homogeneidade de temperatura permite reduzir a duração do aquecimento;
- Reaquecimento rápido de lingotes de metais não ferrosos antes de operações de forjaria ou de trefilação.

- **Secagem direta de cereais e de outros produtos**

A grande pureza dos produtos da combustão do gás natural – ausência de óxidos de enxofre, baixo teor em óxidos de nitrogênio conseguido com queimadores adequados – permite a sua utilização na secagem por contato direto de grãos, fumo, leite em pó e na fabricação de têxteis e papéis.

Nesses processos, o vapor, tradicionalmente usado na secagem, é substituído pelos gases de combustão do gás natural, o que traz as seguintes vantagens:

- Redução do consumo de energia de 25 a 35%;

- Investimento menor em relação à solução tradicional (5 a 10% no caso da desidratação do leite, por exemplo);
- Melhor qualidade dos produtos, graças ao maior controle da temperatura e à flexibilidade do combustível;
- Redução do tempo de secagem;
- Aumento sensível da capacidade de secagem e produtividade maior;
- Custos operacionais e de manutenção reduzidos.

Na França, o setor de secagem de cereais funciona a 80% com gás natural, enquanto que nas indústrias do leite, de têxteis e de papel há um número crescente de conversões ao gás.

- **Cogeração**

Nas indústrias que usam muito vapor, a cogeração é uma solução interessante. Ela consiste em produzir energia elétrica a partir do vapor gerado, podendo ser basicamente de dois tipos:

- Uma caldeira aquecida com combustível sólido, líquido ou gasoso, alimentando, de um lado, uma rede de vapor, e de outro, uma turbina a vapor acoplada a um gerador elétrico;
- Uma turbina a gás acoplada a um gerador elétrico e a um gerador de vapor aquecido pelos gases de exaustão da turbina a gás. O vapor gerado pode ser usado totalmente em processo, ou parcialmente, para mover turbina a vapor acoplada a um gerador elétrico (ciclo combinado);

Nesse tipo de instalação, é possível modular os equipamentos em função da proporção energia elétrica ou mecânica e de calor necessários à indústria.

A vantagem da cogeração reside no aproveitamento máximo da energia do combustível, e tem-se tornado, nesses últimos anos, uma das maiores aplicações do gás natural.

Na cogeração, podem ser usadas turbinas a gás, ciclos combinados ou motores diesel, sendo o rendimento de uma instalação de cogeração com turbina a gás, usando-se gás natural, da ordem de 80% maior que o de outros tipos de instalação. A turbina a gás adapta-se perfeitamente ao gás natural devido às seguintes características deste tipo de equipamento:

- Combustão completa, chama curta e de maior temperatura, donde um melhor rendimento e maior tempo de vida útil;

- Gases de exaustão limpos, isentos de SO<sub>x</sub>, permitindo: melhor aproveitamento da caldeira de recuperação e exaustão na chaminé a temperaturas mais baixas (160°C), sem risco de corrosão por condensação.

Esse tipo de instalação tem, sobre as instalações tradicionais, as seguintes vantagens complementares:

- Consumo menor que nos sistemas convencionais (80%);
- Custo de investimento 1/3 menor que o custo por kW de uma instalação a carvão, e 1/5 do custo por kW de uma instalação nuclear;
- Prazos de construção e instalação reduzidos e possibilidade de modulação. Dois terços de uma instalação de cogeração ciclo turbina a gás pode ser instalada em 12 a 18 meses e a complementação (ciclo vapor) em mais de 6 meses, enquanto uma caldeira a carvão leva mais de 5 anos para ser instalada, sem possibilidade de modulação;
- Taxa de poluição reduzida;
- Custos operacionais menores.

Os sistemas de cogeração a turbina a gás permitem uma autonomia apreciável em termos de energia e de calor, e existem dentro de uma faixa de 10 a várias centenas de MW. A maior instalação de ciclo combinado no mundo, atualmente em construção no Japão, terá capacidade de 2000 MW.

Essas instalações podem funcionar tanto na base (acima de 4000 horas por ano) como no pico (abaixo de 1000 horas por ano). A sua confiabilidade operacional é hoje, no mínimo, equivalente aos sistemas convencionais a vapor. A cogeração pode ser usada em vários setores de indústria, em particular, papel e celulose, química e agroalimentar.

### **2.9.2 Uso indireto do GN na indústria**

Além da utilização direta como matéria-prima ou fonte única de energia, o gás natural, tem, em certas condições específicas, aplicações indiretas de grande valia para a indústria, resultando geralmente em economia de energia. As aplicações mais destacáveis são recuperações de energia do gás natural liquefeito e o uso seletivo do gás com outros combustíveis.

- **Recuperação de energia**

A liquefação foi a solução imaginada para transportar economicamente grandes quantidades de gás natural para locais de consumo distantes dos locais de produção.

Antes de seu embarque em metaneiros, o gás sofre um processo que o faz passar da forma gasosa à forma líquida, sob pressão atmosférica e temperatura de 160°C negativos. Na chegada ao porto de destino, ele é regaseificado, comprimido e transportado por gasoduto até os usuários finais.

A recuperação de energia do gás natural liquefeito, durante o processo de vaporização, consiste em reaproveitar a energia “embutida” no gás liquefeito durante o processo de liquefação.

A idéia surgiu e foi usada pelos frigoríficos de Chicago no final dos anos 50. Naquela época, preocupados pelos gastos em energia para a produção do frio, tiveram a idéia de comprar gás natural liquefeito do Texas, regaseificá-lo, usar o frio para as suas instalações frigoríficas e vender o gás a usuários da região.

Com o desenvolvimento do comércio internacional de GNL a partir de 1964, o interesse pela recuperação da energia foi crescendo e as primeiras instalações desse tipo começaram a se desenvolver, sobretudo no Japão.

A energia recuperada durante a regaseificação do GNL pode ser usada internamente ao próprio processo ou externamente.

- **Uso seletivo do gás**

O uso seletivo do gás consiste no emprego simultâneo do gás natural com um combustível poluente (carvão ou óleo de alto teor de enxofre) na mesma unidade ou em unidades de combustão diferentes, com o propósito de reduzir as emissões de poluentes e melhorar o poder calorífico desse combustível.

Há, atualmente, quatro aplicações básicas do uso seletivo do gás, que consistem em usar gás natural com óleo combustível, carvão, incineração de lixo ou em cogeração.

- **Uso seletivo do gás com carvão**

As tecnologias para o uso seletivo do gás natural podem consistir em queima simultânea de gás e de carvão na mesma caldeira, ou em queima paralela, sendo o gás queimado numa caldeira e o carvão em outra, de maneira coordenada.

- **Uso seletivo do gás na incineração do lixo**

A aplicação do gás na incineração do lixo sólido ou líquido se baseia em duas das qualidades do gás natural: a sua alta temperatura de chama e a limpeza da sua combustão. Isso aumenta o poder de incineração do lixo.

Essa técnica pode então ter várias aplicações industriais tais como em incineradores municipais para produção de vapor, indústrias de madeira e do papel, fábricas de móveis, indústrias químicas, fábricas de borracha sintética etc.

Uma atenção particular tem de ser dada às possibilidades de cogeração nesse caso. Algumas indústrias de papel e de madeira dos Estados Unidos têm usado em caldeiras sobras de papel, carvão ou madeira com gás natural, para a cogeração de eletricidade e vapor.

- **Uso seletivo do gás na cogeração**

Os sistemas de cogeração produzem energia elétrica e calorífica a partir da mesma fonte.

Em algumas situações, as instalações de cogeração podem ser limitadas pela regulamentação antipoluição e, nesses casos, o uso seletivo do gás pode ser a solução. Com efeito, além do controle das emissões, há uma combustão melhorada e um controle mais apurado do consumo energético da instalação.

## **2.10 Segmentos industriais com potencial para utilização do GN**

De acordo com Santos (2002), os principais segmentos industriais que representam mercados potenciais para o gás natural são: indústria metalúrgica, indústria de vidro, indústria de alimentos e bebidas, indústria têxtil, indústria de papel e celulose e indústria cerâmica. Nestes segmentos, a utilização do gás natural permite a obtenção de grandes vantagens, tanto em termos de qualidade do produto final como no que tange à conservação e ao uso racional da energia.

A seguir, serão apresentados, alguns dos principais setores industriais que representam mercados potenciais para o gás natural.

- **Indústria metalúrgica**

De acordo com Santos (2002), nos processos siderúrgicos e metalúrgicos, encontram-se várias utilizações possíveis para o gás natural. Neste segmento industrial, o gás pode ser usado em fornos de tratamento térmico, estufas de secagem, no aquecimento de cadinhos de fundição, na geração de atmosfera controlada, nos equipamentos de corte de chapas, em estufas litográficas, fornos de fusão e espera de metais não-ferrosos.

Além do mais, o gás natural pode ser utilizado na produção de ferro esponja ou nas várias outras utilidades que compõem uma siderúrgica. Com o uso do gás natural podem ser obtidas economias significativas de energia.

- **Indústria de vidro**

Nos países desenvolvidos, o gás natural tornou-se o combustível predominante na indústria do vidro principalmente pela capacidade de proporcionar um controle preciso da temperatura nas fases de fabricação e pós-fabricação, fundamental para os processos produtivos de vidros não planos e vidros prensados de uso automotivo, residencial e arquitetônico, tradicionalmente obtidos somente por fornos elétricos de radiação (PRAÇA, 2003).

- **Indústria de alimentos e bebidas**

Segundo Praça (2003), os processos que mais utilizam energia no setor de alimentos e bebidas são os de lavagem, esterilização, pasteurização, cozimento, aquecimento, secagem e evaporação. Além do mais, as tendências internacionais apontam para uma maior demanda de alimentos industrializados e pré-preparados. Para permitir que esses produtos sejam conservados com uma aparência de frescor, novas tecnologias de tratamento e empacotamento estão em desenvolvimento.

O uso de gás natural permite a substituição da queima indireta do óleo combustível, pela combustão direta, onde os gases da combustão entram em contato direto como o produto fabricado. Além disso, o gás permite um melhor controle, a equalização da temperatura no interior dos fornos e uma maior eficiência (SANTOS, 2002).

De acordo com Santos (2002), nos países industrializados, a indústria de alimentos e bebidas foi uma das primeiras a instalar caldeiras a gás de alta eficiência e baixo nível de emissões. De fato, o gás natural é o combustível predominante nesse setor. Os principais equipamentos que utilizam gás natural na indústria de alimentos e bebidas são, além das caldeiras e estufas, os fornos e torradores de grãos (amendoim e café).

- **Indústria de papel e celulose**

Segundo Praça (2003), a utilização do gás natural na indústria do papel e da celulose vem ocorrendo rapidamente devido à implantação de processos muito eficientes que permitem o aumento da produtividade com aproveitamento pleno das instalações industriais existentes e sem a exigência de grandes investimentos.

Na manufatura de papéis de parede, fornos a gás permitem pré-aquecer o papel antes de sua entrada nos secadores convencionais. Acelera-se, assim, o processo de secagem, obtendo-se um aumento de produtividade e um ganho em termos de eficiência energética para toda a planta (SANTOS, 2002).

Caldeiras a gás, queimadores para combustão submersa, trocadores de calor submersos compactos, tubos submersos compactos, processos de secagem direta, sistemas de cogeração a gás são alguns dos processos e equipamentos que têm sido utilizados pela indústria de papel e celulose em países onde o gás natural tem maior tradição de uso (SANTOS, 2002).

- **Indústria cerâmica**

Este é um dos segmentos que mais se presta ao uso do gás natural, devido ao aspecto qualidade do produto, notadamente no ramo das cerâmicas brancas, o qual necessita de secagem e cozimento a fogo direto, bem como controle automatizado de temperatura (PRAÇA, 2003).

Segundo Santos (2002), dentre as vantagens desse energético no setor cerâmico, destacam-se: possibilidade de secagem e cozimento a fogo direto, devido à ausência de impurezas no gás (enxofre, metais, etc.); versatilidade na concepção e instalação dos sistemas de combustão para os fornos e secadores; controle automatizado da temperatura (permite a automação dos sistemas de combustão); possibilidade de utilização de queimadores de alta velocidade de combustão, o que favorece as trocas por convecção, reduzindo o consumo de energia em até 40%.

- **Indústria têxtil**

No processo de fabricação têxtil, a energia é usada sob forma mecânica, tendo a eletricidade como principal insumo. No acabamento, os processos são intensivos em energia térmica, especialmente sob a forma de calor (SANTOS, 2002).

Segundo Santos (2002), o gás natural é particularmente indicado, pela sua pureza, nas operações de secagem e chamuscagem. Nas operações de tingimento e estampagem, nas quais o produto é imerso em um banho, o uso de queimadores submersos possibilita elevados ganhos de eficiência e redução no consumo energético. Tendo em vista que o vapor é o principal vetor energético dos processos de acabamento, a cogeração mostra-se uma alternativa importante de otimização do uso de energia nesse setor. Por meio da cogeração a gás, a indústria poderá limitar a sua dependência do fornecimento de eletricidade da rede, além de reduzir a sua conta de energia.

- **Indústria química**

A indústria química utiliza o gás natural como matéria-prima. Nesse segmento, o gás é utilizado na petroquímica, produção de fertilizantes, metanol, oxo-álcoois, isocianatos e demais produtos.

Um exemplo de aplicação do gás natural na indústria química é a sua utilização como reagente no processo de fabricação de fertilizante nitrogenado.

Segundo Mônica Souza, engenheira e consultora especializada em energia, “o uso do gás natural como insumo para a indústria química é o que mais agrega valor a esse energético” (FAIRBANKS, 2010).

Pelo critério de agregação de valor e alto volume que poderia ser consumido de GN, o setor químico seria fundamental para dar viabilidade econômica para tamanho volume de gás a ser oferecido ao mercado com a operação das reservas recém-descobertas.

O próximo capítulo irá tratar do desenvolvimento sustentável, que é um conceito da engenharia de produção que tem íntima relação com o presente trabalho. Sabe-se que o uso do gás natural pode mitigar os impactos ambientais, por isso a pesquisadora considera essencial inserir o capítulo seguinte na revisão bibliográfica desta qualificação.

## Capítulo 3 – Desenvolvimento Sustentável

---

Um dos motivos que levaram à discussão do tema “desenvolvimento sustentável” neste trabalho foi o fato da preocupação com o meio ambiente ser uma exigência para qualquer negócio, pois consumidores, governos e a sociedade, em geral, estão começando a dar prioridades às atividades que não afetam a qualidade de vida das gerações futuras, ou seja, às atividades que garantam um desenvolvimento sustentável.

O outro motivo foi a relação do tema, desenvolvimento sustentável, com o assunto tratado no trabalho, que é o uso do gás natural nas indústrias. A introdução do GN nos processos produtivos contribui para a redução dos custos, quando o antigo energético é mais caro e traz maiores custos operacionais. O uso do gás reduz também a emissão de CO<sub>2</sub>, se substituir o uso de combustíveis mais intensivos em carbono e, além disso, pode contribuir com o aumento dos investimentos sociais por meio da captação de impostos e *royalties* oriundos da sua comercialização e exploração. Portanto, ele pode proporcionar benefícios nas três dimensões da sustentabilidade (econômica, ambiental e social).

Para iniciar, vale destacar que, ao longo da história, os seres humanos sempre tiveram uma postura puramente extrativista em relação aos recursos naturais. De acordo com Cavalcanti (2004), toda atividade humana, qualquer que seja ela, afeta o ecossistema, quer pelo lado da exploração de recursos (caso em que a natureza funciona

como fonte), quer pelo do lançamento de dejetos sob a forma de matéria ou energia degradada (caso em que atua como cesta de lixo).

Como forma de destacar a influência das atividades humanas no aumento das emissões atmosféricas de gases de efeito estufa (GEE), foi verificado que a progressão do uso de combustíveis fósseis ocorreu em paralelo ao aumento das atividades industriais. Tendo em vista que o processo de intensificação do efeito estufa teve início justamente no período da Revolução Industrial, durante o qual foram desenvolvidos combustíveis fundamentados em aproveitamento de depósitos de hidrocarbonetos (carvão mineral, gás natural e petróleo), esse processo é associado, com grande probabilidade, às emissões decorrentes da crescente utilização dessas fontes de energia (MAY; LUSTOSA; VINHA, 2003).

Destaca-se que, durante os anos 80, o barateamento do petróleo e de matérias-primas em geral fez com que se deixassem de lado muitos dos efeitos sobre o meio ambiente e se firmasse no crescimento econômico. Diante disso, o aumento da renda e do consumo total *per capita* de materiais, energia e de formação de resíduos prosseguiu, ampliando a exploração devastadora do meio ambiente em todo o mundo.

Tudo isso, evidencia que o padrão da interação, nos últimos anos, dos seres humanos com o meio ambiente está colocando em risco a sobrevivência da espécie humana e de grande parte da comunidade viva do planeta.

Diante dos problemas gerados pela exploração incessante dos recursos naturais, no ano de 1987, a Comissão Mundial da ONU sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED), presidida por Gro Harlem Brundtland e Mansour Khalid, apresentou um documento chamado Nosso Futuro Comum, mais conhecido por Relatório Brundtland.

O relatório critica o risco do uso excessivo dos recursos naturais sem considerar a capacidade de suporte dos ecossistemas, apontando a incompatibilidade entre desenvolvimento sustentável (DS) e os padrões de produção e consumo vigentes (BRAGA, 2007).

Segundo Borges (2007), esse relatório apresentou uma lista de ações a serem tomadas pelos Estados, definiu metas a serem realizadas em nível internacional e também apresentou a definição de desenvolvimento sustentável.

O relatório diz que "Desenvolvimento sustentável é desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as futuras gerações satisfazerem suas próprias necessidades".

Desde sua publicação, o Relatório Brundtland elevou o conceito de desenvolvimento sustentável a um patamar de elemento central nos discursos ambientalistas.

Para Robles Jr. e Boneli (2006), nos preceitos estabelecidos pelo Relatório Brundtland estão inseridos dois conceitos: o primeiro das necessidades, que podem variar de sociedade para sociedade, mas que devem ser satisfeitas para assegurar as condições essenciais de vida a todos, indistintamente. O segundo conceito é o da limitação, que reconhece a necessidade da tecnologia de desenvolver soluções que conservem os recursos limitados atualmente disponíveis e que permitam renová-los na medida em que eles sejam necessários às futuras gerações.

Como resultado da influência do Relatório Brundtland, empresas têm tornado mais conscientes da importância das questões ambientais em todos os níveis de suas operações. Segundo Henriques e Sadorsky (1995), vários outros fatores, como pressão do consumidor e regulação governamental, têm sido freqüentemente citados como contribuintes para a mudança de atitude. Por isso, a empresa que não adaptar os seus processos ou produtos aos requisitos ambientais estará correndo o risco de sair do mercado.

Vale lembrar que, antigamente, o principal obstáculo à adoção de práticas sustentáveis residia na concepção dominante de que meio ambiente e lucro eram adversários naturais. Acreditava-se que a adoção dessas práticas, além de reduzir lucros, obrigaria a repassar os custos aos consumidores, elevando os preços. Essa crença devia-se ao fato de o custo da tecnologia ambientalmente correta ser elevado por não estar nem tão disponível nem tão aprimorada quanto hoje.

Cabe aqui ressaltar que, segundo Lovins, Lovins e Hawken (1999), muitas das tecnologias ambientalmente amigáveis já estão disponíveis e são lucrativas. Isso traz uma garantia que, cada vez mais, as empresas irão introduzi-las em seus processos produtivos.

Felizmente, as empresas estão compreendendo que o custo financeiro de reduzir o passivo ambiental pode ser mais alto do que o custo de "fazer a coisa certa", ou seja, de respeitar as limitações do meio ambiente, pois influenciam a percepção da opinião

pública sobre a corporação, dificultando a implementação de novos projetos e a renovação de contratos.

Acima de tudo, a adaptação às premissas do conceito de desenvolvimento sustentável no setor industrial ajudou a reabilitar uma visão de futuro, relativamente negligenciada no passado, marcada por altas expectativas de lucros econômicos. O conceito de DS emergiu como um horizonte novo para a seleção de opções de mercado, transformando-se numa estratégia de negócio.

Os principais objetivos de políticas derivados desse conceito de desenvolvimento sustentável são os seguintes: retomar o crescimento como condição necessária para erradicar a pobreza; mudar a qualidade do crescimento para torná-lo mais justo, equitativo e menos intensivo em matérias-primas e energia; atender às necessidades humanas essenciais de emprego, alimentação, energia, água e saneamento; manter um nível populacional sustentável; conservar e melhorar a base de recursos; reorientar a tecnologia e administrar os riscos; e incluir o meio ambiente e a economia no processo decisório (CMMAD, 1988).

Tendo em vista que os objetivos de políticas citados acima mencionam crescimento com uso menos intensivo da energia e atendimento das necessidades humanas essenciais de energia, verifica-se a grande relação do tema desenvolvimento sustentável com o tema energia.

A seguir, são apresentadas algumas das inúmeras definições sobre desenvolvimento sustentável disponíveis na literatura.

O conceito de desenvolvimento sustentável sugere um legado permanente de uma geração a outra, para que todas possam prover suas necessidades. Além disso, a sustentabilidade passa a incorporar o significado de manutenção e conservação dos recursos naturais (BARBIERI, 1997).

Para Barbosa (2008), por sustentabilidade entende-se que é gerar o sustento para si próprio, um sistema que se retroalimenta, que se conserva, se mantém, impedindo que ele se acabe. É sobre trabalhar com o equilíbrio, não gerar mais resíduos tóxicos do que a natureza é capaz de absorver, nem retirar recursos numa velocidade maior do que a natureza consegue repor. Projetar para a sustentabilidade é agir responsavelmente, dentro de limites disponíveis e num ritmo que permite a sua continuidade.

Segundo Philippi Jr., Romero e Bruna (2004), a expressão DS significa o modelo de crescimento da economia que leva em consideração as possibilidades de

exaustão dos recursos naturais, as possibilidades de reutilização de produtos ou subprodutos originados desses recursos, o controle de danos que os produtos e resíduos possam provocar no ambiente e as possibilidades de minimizar seus impactos ambientais.

Siena (2002) relata que o desenvolvimento sustentável pode ser encarado como o conceito de desenvolvimento que propicia ou permite o alcance ou a manutenção do bem-estar do sistema, este último entendido como compostos pelo subsistema humano e ecossistema, considerados igualmente importantes.

De acordo com Magretta (1997), desenvolvimento sustentável é um termo adequado para a dupla imperativa – crescimento econômico e sustentabilidade ambiental – que tem ganhado espaço entre os líderes empresariais.

Para Brandão (2009), a definição de sustentabilidade está embutida na noção de renda, ou seja, está atrelada com os resultados das operações das empresas (econômico, social e ambiental).

Já na visão de alguns autores, a idéia de DS é contraditória. Na verdade, serviu para sustentar o mito puro e duro do crescimento econômico e para tranquilizar a população, dando a entender que suas reivindicações com relação ao meio ambiente estavam sendo consideradas.

Naredo (1996) comenta que não é tanto pela novidade, mas sim pela controlada dose de ambiguidade que se explica o sucesso do termo desenvolvimento sustentável, que contentou a todo mundo, sendo um grande presente para os políticos, que passaram a alardear com profusão, sem a preocupação de esclarecer seu significado. A manipulação deste termo satisfez os pontos de vista dos desenvolvimentistas e dos conservacionistas. Os economistas já estavam habituados a propor o objetivo do desenvolvimento sustentado, entendendo por isso um desenvolvimento que não fosse alterado por desequilíbrios e crises, e não tiveram problema algum em substituir esse termo por sustentável, sem modificar substancialmente seus pontos de vista. Por outro lado, os conservacionistas viam na palavra sustentável, a promessa explícita de conservar o patrimônio natural, pensando assim que suas reivindicações tivessem sido atendidas.

Percebe-se, com a discussão anterior, a necessidade de uma melhor definição do conceito de DS utilizado nas estruturas dos planos de ações empresariais e governamentais, de maneira a evitar as armadilhas existentes em idéias contraditórias.

Segundo Naredo e Valero (1999), a idéia ambígua do desenvolvimento sustentável começou a ser difundida em todos os informes e declarações. Porém, esta repetição não serviu para modificar, nos países ricos, as tendências de aumento na demanda total de recursos e de produção de resíduos *per capita* que se observa até o momento.

Vale destacar que a idéia que prevalecerá em torno do conceito de DS não dependerá tanto da discussão meramente racional das elaborações científicas, mas do clima social propício aos distintos paradigmas que as orientam, clima que resultará da influência dos conflitos sociais e ambientais que a atual civilização vem presenciando e que as políticas tratam de controlar.

A verdade é que fica sendo um desafio grande para a indústria promover seu crescimento sem causar estresses que o sistema ecológico não possa absorver, tendo em vista que a atividade industrial é um dos principais causadores dos impactos negativos ao meio ambiente, pois, para operar um processo produtivo, é indispensável o uso de insumos oriundos de recursos naturais e, além do mais, os processos industriais não são 100% eficientes, o que significa que sempre serão gerados resíduos a serem despejados no meio ambiente.

Com o acúmulo de resíduos (sólidos, líquidos e gasosos) oriundos do desenvolvimento econômico em nosso *habitat*, exige-se uma postura pró-ativa em relação ao meio ambiente por parte dos agentes econômicos, a fim de promover desenvolvimento sustentável. Se não houver um comprometimento do setor industrial para tomar iniciativas adequadas, capazes de reduzir a quantidade de resíduos, será impossível proporcionar melhor qualidade de vida para as gerações futuras.

Diante disso, em abril de 1998, no Brasil, a Confederação Nacional da Indústria (CNI) define e publica sua Declaração de Princípios da Indústria para o Desenvolvimento Sustentável (ver Quadro 3.1), iniciativa que permite a divulgação da perspectiva de maior interação entre economia e meio ambiente junto ao empresariado.

1. Promover a efetiva participação proativa do setor industrial, em conjunto com a sociedade, os parlamentares, o governo e organizações não governamentais no sentido de desenvolver e aperfeiçoar leis, regulamentos e padrões ambientais.
2. Exercer a liderança empresarial, junto à sociedade, em relação aos assuntos ambientais.
3. Incrementar a competitividade da indústria brasileira, respeitados os conceitos de desenvolvimento sustentável e o uso racional dos recursos naturais e de energia.
4. Promover a melhoria contínua e o aperfeiçoamento dos sistemas de gerenciamento ambiental, saúde e segurança do trabalho nas empresas.
5. Promover a monitoração e a avaliação dos processos e dos parâmetros ambientais nas empresas. Antecipar a análise e os estudos das questões que possam causar problemas ao meio ambiente e à saúde humana, bem como implementar ações apropriadas para proteger o meio ambiente.
6. Apoiar e reconhecer a importância do envolvimento contínuo e permanente dos trabalhadores e do comprometimento da supervisão nas empresas, assegurando que os mesmos tenham o conhecimento e o treinamento necessários com relação às questões ambientais.
7. Incentivar a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias limpas, com o objetivo de reduzir ou eliminar impactos adversos ao meio ambiente e à saúde da comunidade.
8. Estimular o relacionamento e as parcerias do setor privado com o governo e com a sociedade em geral, na busca do desenvolvimento sustentável, bem como na melhoria contínua dos processos de comunicação.
9. Estimular as lideranças empresariais a agir permanentemente junto à sociedade com relação aos assuntos ambientais.
10. Incentivar o desenvolvimento e o fornecimento de produtos e serviços que não produzam impactos inadequados ao meio ambiente e à saúde da comunidade.
11. Promover a máxima divulgação e conhecimento da Agenda 21 e estimular sua implementação.

Quadro 3.1 – Declaração de princípios da indústria para o desenvolvimento sustentável  
Fonte: CNI (2002)

Atualmente, muitas empresas já estão conscientizadas da importância da questão ambiental e possuem uma atividade específica para cuidar desse problema que se encontra agregada junto à função de Produção, de Segurança, de Qualidade etc. Notadamente as grandes empresas, já possuem uma função administrativa específica relacionada à variável ecológica que concentra todas as atividades relativas às questões ambientais (DONAIRE, 1999, p. 66).

### 3.1 As dimensões da sustentabilidade

O desenvolvimento sustentável nas organizações apresenta três dimensões. São elas: a econômica, a social e a ambiental. Alguns autores fazem referência às três dimensões da sustentabilidade por meio dos termos *triple bottom line* ou tripé da sustentabilidade.

Elkington (1997) concebeu a expressão *triple bottom line* (TBL), como a atuação das empresas para atender a integração das dimensões sociais e ambientais nas estratégias econômicas.

O autor idealizou a teoria para ajudar as empresas de petróleo e gás a entrelaçarem os 3 (três) componentes do desenvolvimento sustentável: prosperidade

econômica, justiça social e proteção ao meio ambientes dentro das suas operações principais. O autor afirma que a transição para o TBL é complexa, pois envolve mudanças na estrutura operacional e comercial das empresas, promovendo alterações no mercado de negócios local e global (ELKINGTON, 1997).

A Figura 3.1 demonstra o equilíbrio das 3 (três) dimensões na organização, ilustrando os três pilares necessários, o *triple bottom line*, para que seja alcançada a sustentabilidade empresarial.

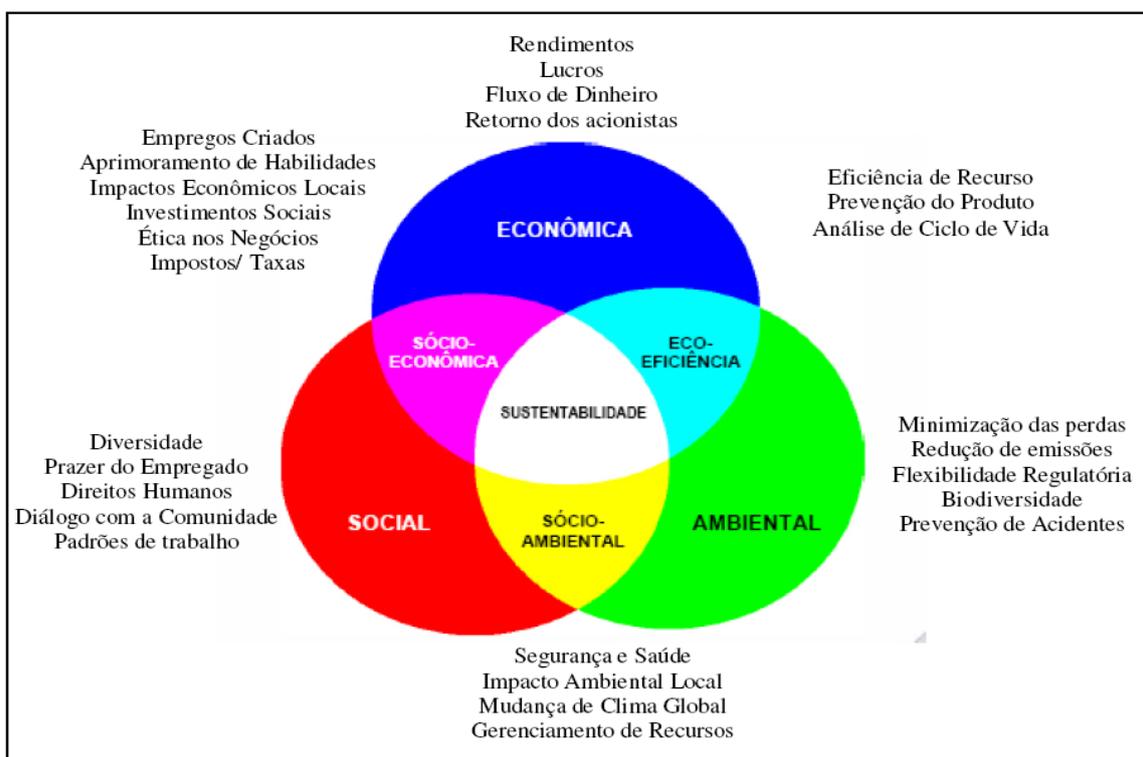


Figura 3.1 – *The Triple Bottom Line*

Fonte: CSRP (2003)

Kraemer (2005) também menciona as três dimensões da sustentabilidade quando relata que “a ordem é a busca do desenvolvimento sustentável, em que três critérios fundamentais devem ser obedecidos, simultaneamente: equidade social, prudência ecológica e eficiência econômica”.

O conceito do tripé tornou-se uma ferramenta conceitual útil para interpretar as interações extra-empresariais e, especialmente, para ilustrar a importância de uma visão da sustentabilidade mais ampla, além de uma mera sustentabilidade econômica (ALMEIDA, 2002).

Esse tripé demonstra que as empresas precisam satisfazer os seus proprietários ou acionistas por meio dos lucros e dividendos e, ao mesmo tempo, os demais

*stakeholders*, como empregados, clientes, comunidade, governo e outros, por meio do melhor desempenho nos aspectos ambiental e social.

Em termos sociais, a empresa deve satisfazer os requisitos de proporcionar as melhores condições de trabalho aos seus empregados, procurando contemplar a diversidade cultural existente na sociedade em que atua, além de propiciar oportunidade aos deficientes de modo geral. Além disso, seus dirigentes devem participar ativamente das atividades socioculturais de expressão da comunidade que vive no entorno da unidade produtiva (DIAS, 2008).

Do ponto de vista ambiental, deve a organização pautar-se pela eco-eficiência dos seus processos produtivos, adotar a produção mais limpa, oferecer condições para o desenvolvimento de uma cultura ambiental organizacional, adotar uma postura de responsabilidade ambiental, buscando evitar a contaminação de qualquer tipo do ambiente natural, e procurar participar de todas as atividades patrocinadas pelas autoridades governamentais locais e regionais no que diz respeito ao meio ambiente natural (DIAS, 2008).

Além das dimensões social, econômica e ambiental, Sachs (1993) aponta a dimensão espacial e cultural. A sustentabilidade espacial procura obter o equilíbrio entre a população rural e urbana. Já a sustentabilidade cultural visa garantir a continuidade das tradições e pluralidade dos povos.

### **3.2 Métodos que ajudam as empresas a trilhar em direção à sustentabilidade**

Vários mecanismos gerenciais e operacionais são sugeridos na literatura. Por exemplo, Jappur (2004) recomenda que, para uma organização trilhar em direção à sustentabilidade, ela pode utilizar alguns métodos, tais como: Responsabilidade Social Corporativa; Governança Corporativa; Eco-eficiência; Análise do Ciclo de Vida; Emissão Zero; Sistemas de Gestão Certificáveis; Produção Mais Limpa, Relatórios de Sustentabilidade Social Corporativa. Pode-se acrescentar também *Ecodesign*, Rotulagem Ambiental e a Logística Reversa (Quadro 3.2).

<b>Métodos</b>	<b>Descrição</b>
Responsabilidade Social Corporativa	Refere-se à conduta ética e responsável adotada pelas organizações na plenitude das suas redes de relações, incluindo seus consumidores, fornecedores, funcionários e familiares, acionistas, comunidade em que se inserem, ou sobre a qual exercem algum tipo de influência, além do governo e do meio ambiente.
Governança Corporativa	É designada para abranger os assuntos relativos ao poder de controle e direção de uma empresa, bem como as diferentes formas e esferas de seu exercício e os diversos interesses que estão ligados à vida das sociedades comerciais. Adota as seguintes linhas mestras – transparência, prestação de contas e equidade.
Eco-eficiência	Consiste em uma filosofia de gestão empresarial que incorpora questões ambientais, que visa o fornecimento de bens e serviços a preços competitivos que satisfaçam as necessidades e tragam qualidade de vida, ao tempo que reduz progressivamente o impacto ambiental e o consumo de recursos ao longo do ciclo de vida, a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada da Terra.
Análise do Ciclo de Vida	É um método para a avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos reais e potenciais associados a um produto, compreendendo etapas que vão desde a extração das matérias-primas até a disposição do produto final.
Emissão Zero	Incidir em um agrupamento ecológico de indústrias, no qual a aplicação de seu conceito proporciona uma mudança da produtividade do trabalho para a produtividade dos recursos, uma vez que os resíduos são transformados em novos recursos. O agrupamento ecológico aumenta extraordinariamente a produtividade e melhora a qualidade dos produtos, ao mesmo tempo que gera empregos e diminui a poluição.
Sistemas de Gestão Certificáveis	Possuem vários focos e abordagens; estes, no entanto, não garantem defeitos zero, poluição zero, ou riscos zeros, mas, sim, um meio pelo qual as organizações se articulam sistematicamente para dar resposta às demandas exigidas pelas partes interessadas e obtêm uma forma de buscar continuamente melhorar seu sistema de gerenciamento e seus respectivos indicadores de desempenho.
Produção Mais Limpa	Consiste num método de combate ao desperdício de recursos naturais e financeiros. Pode ser considerada como uma das formas de se atingir a eco-eficiência.
Relatórios de Sustentabilidade Corporativa – Global Reporting Initiative	Tem como visão e missão a ajuda no preparo, na comunicação e na obtenção de informações que auxiliem as organizações no desenvolvimento de relatórios de sustentabilidade corporativa. Busca melhorar a qualidade, o rigor e a utilidade destes relatórios harmonizando as informações econômicas, ambientais e sociais, por meio um suporte ativo de engajamentos vindos de várias partes interessadas.
<i>Ecodesign</i>	Um conjunto específico de práticas de projeto, orientadas para a criação de produtos e processos ecoeficientes, respeitando-se os objetivos ambientais, de saúde e segurança durante todo o ciclo de vida destes produtos e processos. Na realidade, o <i>ecodesign</i> foca prioritariamente o projeto e o desenvolvimento de produtos. E, por meio do <i>ecodesign</i> , pode-se reduzir a utilização de matéria-prima, de energia e de água necessários para a fabricação do produto.
Rotulagem Ambiental	O objetivo principal deste instrumento é assegurar que os produtos oferecidos pela empresa atendam a certos padrões ambientais ou a programas específicos – voluntários ou mandatários por lei e cubram desde componentes de produtos até embalagens. Esses rótulos com características específicas são largamente usados em marketing de produtos em que o fabricante busca passar uma imagem “verde” a seus consumidores. Esses rótulos são conhecidos como “selos verdes”.
Logística Reversa	Envolve todas as operações relacionadas à reutilização de produtos e materiais, na busca de uma recuperação sustentável. Como procedimento logístico, trata também do fluxo de materiais que retornam por algum motivo (devoluções de clientes, retorno de embalagens, retorno de produtos e/ou materiais para atender à legislação, etc.). A logística reversa não trata apenas do fluxo físico de produtos, mas também de todas as informações envolvidas nesse processo.

Quadro 3.2 – Métodos para sustentabilidade corporativa

Fonte: Adaptado JAPPUR (2004)

É importante salientar que a aplicação de um método não impossibilita a utilização simultânea de outros, pois, dependendo do caso, se integram.

Existem diferentes opções de ferramentas e métodos para avaliação e apresentação da sustentabilidade nas empresas. Vale lembrar que antes se ressaltavam apenas indicadores imediatistas, tais como o indicador de análise do custo/benefício com o aumento da produtividade e ampliação das vendas no mercado, porém, atualmente, os critérios de avaliação incorporam dimensões mais amplas, que vão além de resultados econômicos, incluindo os aspectos social, cultural e preservação ambiental, por meio de indicadores de desempenho em projetos e empresas. É neste contexto de sustentabilidade que o uso do gás natural transparece como fonte energética mais adequada, devido ao seu reduzido nível de emissão de gases poluentes, mesmo entrando no rol dos combustíveis fósseis. Desse modo, neste trabalho serão apresentados alguns indicadores ambientais e econômicos que transmitam, de forma quantitativa, os benefícios advindos do uso do gás natural, a fim de alcançar os resultados propostos por esta tese de doutorado e fundamentar mais objetivamente as pesquisas científicas que têm o interesse de avaliar a importância desse energético para o desenvolvimento sustentável.

No capítulo seguinte, serão apresentados os resultados de uma pesquisa bibliográfica sobre indicadores. Por último, são apresentados indicadores de sustentabilidade e os possíveis indicadores a serem utilizados na mensuração dos benefícios relacionados ao uso do gás.



## Capítulo 4 – Indicadores de sustentabilidade

---

Como as variáveis que serão utilizadas pela DEA para calcular a eficiência produtiva relativa das caldeiras e aquecedores são indicadores ambientais e econômicos, decidiu-se elaborar um capítulo sobre o assunto a fim de mostrar a definição, objetivos dos indicadores e, também, apresentar conceitos e alguns exemplos de indicadores de sustentabilidade encontrados na literatura.

É importante destacar que esse capítulo não pretende esgotar o assunto de indicadores de sustentabilidade. Entretanto, permite apresentar de onde surgiu os indicadores que foram utilizados como variáveis na DEA. Para isso, fez-se uma breve revisão dos conceitos relacionados que dão subsídios ao tema principal.

Na visão de Tachizawa (2007), a seleção de objetivos e métricas relacionadas é o único determinante importante da eficácia de uma organização, uma vez que as decisões são tomadas com base em fatos, dados e informações quantitativas.

É possível, com o uso de indicadores, o monitoramento contínuo e consistente de transformações ao longo do tempo, podendo visualizar e reforçar metas predefinidas. Os indicadores medem o cumprimento de objetivos, metas e desempenhos, proporcionando um sinal preventivo de alerta para a necessidade de mudanças de políticas ou de novas ações (UNEP & WTO, 2005).

Os indicadores fornecem informações indispensáveis para avaliar as mudanças ocasionadas numa localidade e servem como instrumento para detectar problemas e

examinar situações, além de mostrar a tendência de condições futuras, facilitando o trabalho de gestão dos tomadores de decisões, pesquisadores, políticos e gestores públicos (HANAI & ESPÍNDOLA, 2009).

A sistematização da literatura permitiu a identificação de inúmeras definições conceituais para indicadores. No Quadro 4.1, estão expostos alguns desses conceitos com destaque para os pressupostos essenciais apresentados em cada um desses conceitos.

Fonte	Conceito de indicador
Holling (1978)	Indicador é uma medida do comportamento do sistema em termos de atributos expressivos e perceptíveis.
McQueen e Noak (1988)	Definem indicador como uma medida que resume informações relevantes de um fenômeno particular ou substituto dessa medida.
Chevalier et al. (1992)	Este autor coloca um indicador como uma variável que está relacionada hipoteticamente com outra variável estudada, que não pode ser diretamente observada.
Hammond et al. (1995)	O termo indicador vem do latim <i>indicare</i> e significa descobrir, apontar, anunciar, estimar. De acordo com esse mesmo autor, os indicadores podem comunicar ou informar sobre o progresso em direção a uma determinada meta e, além disso, podem ser entendidos como um recurso que deixa mais perceptível uma tendência ou fenômeno que não seja imediatamente detectável.
GeoCidades (2001)	Os indicadores podem ser definidos como “pacotes de informação”, que ajudam a compreender interações complexas que se estabelecem entre diferentes fenômenos no mundo. Sem os indicadores, é virtualmente impossível perceber os diversos níveis de mútua determinação que os fenômenos estabelecem entre si. Os indicadores podem ser, também, definidos, como algo que nos permite ter acesso a informações relativas a questões que são relevantes para a sociedade, mas que não são imediatamente perceptíveis para seus membros. Têm, ainda, “um significado que se estende para além daquilo que é realmente medido; isso implica um modelo ou conjunto de suposições, implícito ou explícito, vinculando os indicadores aos fenômenos que interessam”. São, portanto, ferramentas bastante úteis, na medida em que servem de ponto de referência ou como sinalização em um terreno cheio de bifurcações, no qual é difícil escolher a direção correta a seguir.
OECD (2003)	Define indicador como um parâmetro, ou valor derivado de parâmetros, que provê informações a respeito de um dado fenômeno, e sua principal característica é sintetizar um conjunto de informações captando a essência do que está sendo analisado.
United Nations Environment programme and world tourism organization (2005)	O indicador resume as informações sintéticas sobre fenômenos, sendo um sinal e a representação operacional do atributo de um sistema (qualidade, característica ou propriedade).
Maranhão (2007)	Indicador é uma ferramenta de avaliação referida a uma característica específica e observável, mensurável em escala quantitativa ou qualitativa, ou a uma mudança que pode ser avaliada em relação a um critério previamente selecionado, e que mostra a evolução de uma política ou de um ou mais programas implementados em relação a essa característica ou critério, ou o progresso relativamente ao alcance de um resultado determinado, habilitando os tomadores de decisão a avaliar a necessidade/oportunidade de uma intervenção corretiva e/ou estimar o progresso rumo aos resultados, metas e produtos perseguidos ou, ainda, os impactos de uma determinada ação.

Quadro 4.1 – Conceitos selecionados de indicador

Para dar um embasamento teórico mais consistente com relação aos indicadores, decidiu-se reunir também a visão de alguns autores sobre os objetivos dos indicadores.

O objetivo dos indicadores é ajudar a compreender onde se está, qual o caminho a ser seguido e a que distância se está da meta estabelecida. Um bom indicador ajuda a identificar os problemas antes que se tornem insuperáveis e auxilia na sua solução. Para que um indicador seja efetivo, é necessário que seja relevante, refletindo o sistema que precisa ser conhecido, fácil de ser entendido, confiável e baseado em dados acessíveis (HART, 2005).

Segundo Silva (2008), os indicadores podem cumprir um papel central no processo de tomada de decisão, isto é, na transformação da informação em ações concretas, orientadas à superação dos problemas detectados, nas distintas áreas da sociedade, considerando-se, usualmente, objetivos de interesse coletivo.

Tunstall (1994) aponta que as principais funções dos indicadores são:

- Avaliação de condições e tendências;
- Comparação entre lugares e situações;
- Avaliação de condições e tendências em relação às metas e aos objetivos;
- Provimento de informações de advertência;
- Antecipação de futuras condições e tendências.

É importante transcrever a visão de Tachizawa (2007, p.88) relacionada com a importância dos indicadores: “O que não pode ser medido não pode ser avaliado e, conseqüentemente, não há como decidir sobre ações a tomar”.

Antes de finalizar esta seção, destaca-se a diferença entre indicadores e índices. Segundo OECD (2003), o índice é um conjunto agregado de parâmetros ou indicadores relativizados por pesos.

Para Guimarães (2008), pode-se dizer que um índice é um conjunto agregado de indicadores, podendo conter ou englobar dois ou mais indicadores. Os índices normalmente são utilizados para facilitar a informação.

Para se desenvolver um índice, os diferentes indicadores que compõem precisam ser identificados com grau de importância usando-se pesos. Isso torna o índice subjetivo, nem sempre expressando a verdadeira realidade. Além disso, o índice pode não capturar todas as faces de uma situação.

A Figura 4.1, apresentada por Hammond (1995), mostra a pirâmide da informação. Pode-se verificar que os dados primários estão na base da pirâmide e que, por meio de sucessivas manipulações, chegam ao topo da pirâmide transformando-se em índices.

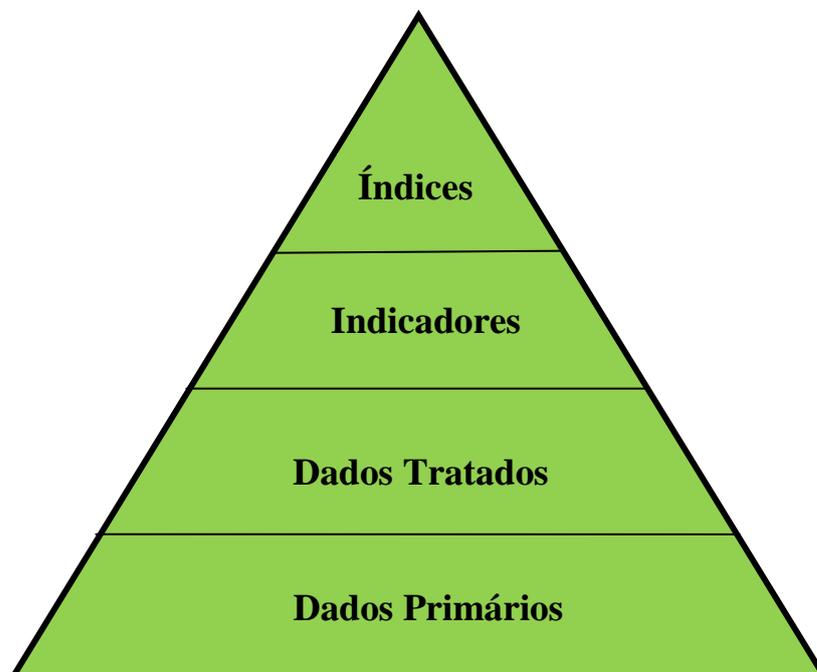


Figura 4.1 – Pirâmide de informação  
Fonte: Adaptado de Hammond (1995)

O esquema em forma de pirâmide é ideal para representar esse processo, pois identifica a agregação que vai ocorrendo nos dados à medida que se sobe na pirâmide.

Segundo Bellen (2006), o objetivo dos índices é agregar e quantificar informações de modo que sua significância fique mais aparente. Eles simplificam as informações sobre fenômenos complexos tentando melhorar com isso o processo de comunicação.

Vale acrescentar que é possível classificar, segundo Silva (2008), os indicadores em simples e compostos.

Os indicadores simples são, normalmente, auto-explicativos, pois descrevem imediatamente um determinado aspecto da realidade (ex.: número de domicílios com coleta de lixo). São muito apropriados para a realização de avaliações, permitindo conclusões rápidas e objetivas.

Já os indicadores compostos apresentam, de forma sintética, um conjunto de aspectos da realidade. Agrupam vários indicadores simples e são obtidos por meio de agregações matemáticas estabelecendo, entre eles, algum tipo de média, de ponderação

(ex.: índice de qualidade de vida do município). Segundo Vaz (2007), são importantes por permitirem comparações e avaliações de desempenho.

Apesar dos benefícios dos indicadores compostos, é essencial ter bastante cuidado com eles, pois podem induzir a políticas erradas se forem mal construídos ou mal interpretados.

Existem diversas outras classificações para os indicadores, mas serão abordados aqui somente os de interesse para o presente trabalho.

Para finalizar, é importante destacar que, para alcançar a sustentabilidade, é necessária a definição de seus componentes em termos mensuráveis e a clara determinação de responsabilidade, para que se possa avaliar o progresso de modo abrangente (HALES & PRESCOTT-ALLEN, 2005). Os indicadores facilitam a velocidade de resposta e de redefinição para novas alternativas e alcance dos objetivos.

Diante disso, serão apresentados, na seção seguinte, os indicadores de sustentabilidade, suas características, funções e alguns exemplos.

#### **4.1 Indicadores de sustentabilidade**

A idéia de desenvolver indicadores de sustentabilidade surgiu na Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente (Rio-92), conforme registra seu documento final, a Agenda 21. A proposta era definir padrões sustentáveis de desenvolvimento que considerassem aspectos ambientais, econômicos, sociais, éticos e culturais. Para isso, tornou-se necessário definir indicadores que a mensurassem, monitorassem e avaliassem.

Segundo Silva (2008), a Agenda 21 funcionou como matriz de identificação de temas e problemas ambientais, o que acabou envolvendo um amplo conjunto de organismos internacionais, tais como o Banco Mundial, o Programa das Nações Unidas para o meio ambiente (PNUMA), o World Wild Fund for Nature (WWF) e o World Resources Institute (WRI), além de várias agências governamentais de países desenvolvidos (Noruega, Estados Unidos, Canadá e Inglaterra) e em desenvolvimento (México, Índia, Egito, Brasil), na produção de indicadores, orientados para a avaliação do grau de sustentabilidade das políticas, programas, ações e processos de desenvolvimento econômico, urbano e social, que impactam o meio ambiente, influenciando em seu desempenho atual e futuro e estimulando a participação da comunidade pela promoção do conhecimento e da consciência dos parâmetros considerados.

Os indicadores de sustentabilidade são frequentemente usados como subsídios à tomada de decisão e ao planejamento. Eles podem ser vistos como “sinais” para o desenvolvimento sustentável.

De acordo com Bellen (2006), eles comunicam o progresso em direção a uma meta, de forma simples e objetiva, o suficiente para retratarem o mais próximo da realidade, mas dando ênfase aos fenômenos que tenham ligações entre a ação humana e suas conseqüências. Isso porque têm a capacidade de abranger os três pilares: social, ambiental e econômico de forma conjunta, o que nem sempre é percebido nas ações humanas do cotidiano.

Segundo Moldan (1997), os usos potenciais de indicadores de sustentabilidade incluem alertar os tomadores de decisão sobre questões prioritárias, guiar a formulação de políticas, simplificar e melhorar a comunicação e promover um entendimento comum de tendências-chave, tendo como objetivo promover ações necessárias, nacional e corporativamente.

Do ponto de vista de Watson e Cole (1992) e Frausto Martínez *et al.* (2005), o uso de indicadores, como medidores de processo do desenvolvimento sustentável, tem as seguintes funções principais:

- reconhecer metas e objetivos, mostrando se as condições em relação às finalidades de gestão estão sendo atingidas e satisfeitas;
- sinalizar a necessidade de ações corretivas da estratégia de gestão;
- subsidiar o processo de tomada de decisão, proporcionando informação relevante para apoiar a implementação de políticas em diferentes níveis;
- tornar-se a base para o gerenciamento dos impactos ambientais (avaliar a eficiência de várias alternativas);
- refletir a condição geral de um sistema, permitindo análise comparativa no tempo e no espaço (situações e locais);
- antecipar situações futuras de risco e conflito.

Para Azapagic, Perdan e Clift (2004), o uso de indicadores de sustentabilidade tem auxiliado as empresas a identificar e abandonar as operações intensivas em recursos, perseguindo modelos de produção mais eficientes.

Tachizawa (2007) sugere a utilização dos indicadores de gestão ambiental e de responsabilidade social, para determinar relações matemáticas que mensuram atributos de um processo ou dos resultados empresariais, com o objetivo de comparar métricas advindas de eventos reais com metas e padrões preestabelecidos. Na determinação dessas métricas, podem ser visualizadas algumas características descritivas, tais como:

- a) é uma relação matemática que resulta em medida quantitativa;
- b) identifica-se um estado do processo ou resultado deste;
- c) associa-se a metas numéricas preestabelecidas.

Bellen (2005) oferece alguns passos para a construção de medidas de sustentabilidade:

- a) a dimensão ou escopo – ambiental, econômica, cultural, social, institucional;
- b) o campo de aplicação ou a esfera – global, regional, local;
- c) os dados que a ferramenta utiliza – qualitativos e/ou quantitativos -, além de apresentar o seu nível de agregação (indicadores/ou índices);
- d) a participação dos diferentes atores sociais na elaboração do sistema – *top-down* (especialistas e pesquisador) ou *bottom-up* (público-alvo);
- e) a interfase – facilidade em se interpretarem os dados para as tomadas de decisões.

Como forma de exemplificar alguns indicadores de sustentabilidade, cabe apresentar o trabalho da Divisão das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável publicado no ano de 2001, que apresenta quadros que definem vários temas e sub-temas de indicadores de sustentabilidade. Os temas têm sido desenvolvidos para intitular as seguintes considerações: futuros riscos; correlação entre temas; metas sustentáveis; e necessidades da sociedade básicas. Ao abordar os riscos futuros, o trabalho se torna uma ferramenta dinâmica para auxiliar a tomada de decisões, especialmente quando os limiares quantitativos são conhecidos. Os quadros refletem as conexões entre dimensões, temas e sub-temas. Além disso, ilustram os objetivos do desenvolvimento sustentável para o avanço do desenvolvimento social e institucional, a fim de manter integridade ecológica e assegurar prosperidade econômica (Quadros 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5).

SOCIAL		
Tema	Sub-tema	Indicador
Equidade	Pobreza	Percentual da população vivendo abaixo da linha da pobreza
		Índice de Gini* de Desigualdade de Renda
		Taxa de desemprego
	Igualdade de Gênero	Razão do salário médio feminino pelo salário médio masculino
Saúde	Status Nutricional	Status nutricional da criança
	Mortalidade	Taxa de mortalidade abaixo dos 5 anos
		Expectativa de vida no nascimento
	Saneamento	Percentual da população com instalações de disposição adequada de esgoto
	Água potável	População com acesso à água potável
	Serviços de cuidados de saúde	Percentual da população com acesso aos cuidados de saúde primária
		Imunização contra doenças de infância infecciosa
Taxa de prevalência contraceptiva		
Educação	Nível Educacional	Criança alcançando estágio avançado do ensino primário
		Adulto alcançando nível secundário de educação
	Alfabetização	Taxa de alfabetização de adultos
Habitação	Condições de moradia	m <sup>2</sup> por pessoa
Segurança	Crime	Número de crimes por 100.000 habitantes
População	Mudanças populacionais	Taxa de crescimento populacional
		Assentamentos formais e informais

Quadro 4.2 Dimensão social dos indicadores de sustentabilidade

Fonte: Divisão das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável (2001)

A dimensão social dos indicadores de desenvolvimento sustentável corresponde, especialmente, aos objetivos ligados à satisfação das necessidades humanas, melhoria da qualidade de vida e justiça social. Os indicadores incluídos nesta dimensão abrangem os temas: equidade, saúde, educação, habitação, segurança e população, e procuram retratar a situação social, a distribuição da renda e as condições de vida da população. Dentre os indicadores desses temas, encontram-se: taxa de crescimento da população, taxa de desemprego, taxa de alfabetização, taxa de mortalidade infantil, m<sup>2</sup> por pessoa, status nutricional da criança, acesso a água potável, a esgoto, aos cuidados de saúde primária, expectativa de vida ao nascer, entre outros.

\* Índice de Gini – mede o grau de desigualdade existente na distribuição de indicadores segundo a renda domiciliar per capita. Ele consiste em um número entre 0 e 1, onde o 0 corresponde à completa igualdade de renda (onde todos têm a mesma renda) e 1 corresponde à completa desigualdade (onde uma pessoa tem toda a renda e as demais nada têm).

AMBIENTAL		
Tema	Sub-tema	Indicador
Atmosfera	Mudança climática	Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE)
	Depleção da camada de ozônio	Consumo de substâncias que diminuem a camada de ozônio
	Qualidade do ar	Concentração no ambiente de poluentes em áreas urbanas
Terra	Agricultura	Área de terra arável e permanente de cultura
		Uso de fertilizantes
		Uso de pesticidas
	Florestas	Área florestal como uma porcentagem da área terrestre
		Intensidade de extração da madeira
	Desertificação	Terra afetada pela desertificação
Urbanização	Área de assentamentos urbanos formal e informal	
Oceanos, Mares e Costas	Zona Costeira	Concentração de algas nas águas costeiras
		Percentual do total população vivendo em áreas costeiras
	Pesca	Capturas anuais por espécies principais
Água Doce	Quantidade de água	Retirada anual das águas subterrâneas e superficiais como um percentual da água total disponível
	Qualidade da água	Demanda biológica de oxigênio em volume d'água
		Concentração de coliformes na água doce
Biodiversidade	Ecossistema	Área de selecionados ecossistemas- chaves
		Área protegida como um % da área total
	Espécies	Abundância de espécies selecionadas

Quadro 4.3 Dimensão ambiental dos indicadores de sustentabilidade

Fonte: Divisão das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável (2001)

A dimensão ambiental dos indicadores de desenvolvimento sustentável diz respeito ao uso dos recursos naturais e à degradação ambiental, e está relacionada aos objetivos de preservação e conservação do meio ambiente, considerados fundamentais ao benefício das gerações futuras. Essas questões aparecem organizadas nos temas: atmosfera; terra; água doce; oceanos, mares e áreas costeiras; biodiversidade. Dentre os indicadores desses temas encontram-se: uso de fertilizantes, uso de agrotóxicos, remanescentes florestais, percentual do total da população vivendo em áreas costeiras, capturas anuais por espécies principais, intensidade de extração da madeira, entre outros.

<b>ECONÔMICO</b>		
<b>Tema</b>	<b>Sub-tema</b>	<b>Indicador</b>
Estrutura Econômica	Desempenho Econômico	PIB per capita
		Parcela do Investimento em PIB
	Comércio	Balança de comércio de bens e serviços
	Status Financeiro	Razão dívida/PIB
Total AOD** dado ou recebido como um por cento do PNB		
Consumo e padrões de produção	Consumo de material	Intensidade de uso de material
	Uso de energia	Consumo de energia anual per capita
		Parcela de consumo de fontes de energia renovável
		Intensidade de uso de energia
	Geração de lixo e gerenciamento	Geração de lixo sólido industrial e municipal
		Geração de resíduos perigosos
		Geração de resíduos radioativos
		Reciclagem de lixo e reuso
	Transporte	Distância percorrida per capita por modais de transporte

Quadro 4.4 Dimensão econômica dos indicadores de sustentabilidade  
 Fonte: Divisão das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável (2001)

A dimensão econômica dos indicadores de desenvolvimento sustentável trata do desempenho econômico e financeiro do país, do consumo de recursos materiais, do uso de energia e da geração de lixo e transporte. É uma dimensão que se ocupa com os objetivos de eficiência dos processos produtivos e com as alterações nas estruturas de consumo orientadas a uma reprodução econômica sustentável a longo prazo. Dentre os indicadores desse tema, encontram-se: PIB *per capita*, consumo de energia *per capita*, balança comercial, parcela de investimento em PIB, grau de endividamento, intensidade energética etc.

<b>INSTITUCIONAL</b>		
<b>Tema</b>	<b>Sub-tema</b>	<b>Indicador</b>
Estrutura Institucional	Implementação estratégica de desenvolvimento sustentável	Estratégia nacional de desenvolvimento sustentável
	Cooperação Internacional	Implementação de acordos globais ratificados
Capacidade Institucional	Acesso de informação	Número de assinantes de internet por 1.000 habitantes
	Estrutura de comunicação	Linhas telefônicas por 1.000 habitantes
	Ciência de tecnologia	Gasto em pesquisa e desenvolvimento como um percentual do PIB
	Prontidão e resposta aos desastres	Perda econômica e humana devido aos desastres naturais

Quadro 4.5 Dimensão institucional dos indicadores de sustentabilidade  
 Fonte: Divisão das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável (2001)

\*\* AOD significa Assistência Oficial do Desenvolvimento

Por fim, a dimensão institucional dos indicadores de desenvolvimento sustentável diz respeito à orientação política e capacidade para as mudanças requeridas para uma efetiva implementação do desenvolvimento sustentável. Conforme descrito pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), esta dimensão aborda temas de difícil medição e que carece de mais estudos para o seu aprimoramento. Dentre os indicadores desses temas, encontram-se: ratificação de acordos globais, gasto em P&D como um percentual do PIB, perda humana e econômica devido aos desastres ambientais.

Em 2005, foi dado início a uma revisão desses indicadores da ONU publicados em 2001. A nova versão tem apenas 50 indicadores, ou seja, 8 indicadores a menos que o total publicado em 2001. Essa nova versão mantém a estrutura adotada em 2001, envolvendo praticamente os mesmos temas e sub-temas.

Os três indicadores relacionados à atmosfera incluídos no conjunto básico de indicadores das Nações Unidas (emissões de gases de efeito estufa, consumo de substâncias que diminuem a camada de ozônio e concentração do meio ambiente de poluentes do ar em áreas urbanas) foram selecionados como relevantes e mensuráveis pela maioria dos países. Representam medidas direcionadoras; o ponto de entrada para intervenções políticas de desenvolvimento sustentável. O primeiro indicador mede as emissões líquidas de 6 gases de efeito estufa que conduzem à mudança climática e que são assunto do Protocolo de Quioto. O segundo avalia gradualmente as substâncias que diminuem a camada de ozônio assunto do Protocolo de Montreal e suas alterações posteriores. O terceiro mede a exposição das pessoas aos vários poluentes do ar. No último caso, é importante considerar o indicador com os padrões de qualidade de ar nacional. Os três são estreitamente associados com outros temas da estrutura de indicadores; por exemplo, terra (floresta e urbanização) e consumo e padrões de produção (uso de energia e transporte).

Como a indústria é uma das principais emissoras dos gases de efeito, das substâncias que diminuem a camada de ozônio e dos demais poluentes que comprometem a qualidade do ar, pesquisas focadas na geração de poluentes devido ao uso de energia pelo setor industrial são primordiais.

À medida que a sociedade evolui tecnologicamente os impactos ambientais oriundos das atividades industriais (esgotamento dos recursos naturais utilizados como

fonte de energia e matérias-primas, a poluição do solo, da água e do ar, entre outros) têm sido ampliados em diversidade e intensidade.

Embora a preservação dos recursos naturais seja fundamental para a manutenção da vida do planeta e objeto de amplas discussões, a poluição se apresenta como um problema com dimensões muito maiores, por representar ameaça direta à saúde da população e ao meio ambiente (SANTOS, 2002).

Vale ressaltar que a intensidade da poluição de uma atividade industrial ou produto depende principalmente do processo empregado. Os resíduos industriais (sólidos, líquidos ou gasosos) são produzidos a partir de diversos processos, e a quantidade e a toxicidade do resíduo varia de acordo com os processos industriais específicos (SHEN, 1995). Por exemplo, os setores de celulose e papel, e de mineração e siderurgia geram significativamente mais emissões do que o setor de eletroeletrônicos. No Brasil, estudos apontam os setores de ferro e aço, petróleo e derivados, metal-mecânico, celulose e papel, químico e de alimentos como sendo os mais poluentes (DASGUPTA, LUCAS e WHEELER, 1998).

A Figura 4.2 mostra um processo industrial genérico, onde são gerados resíduos contendo diferentes tipos de poluentes.

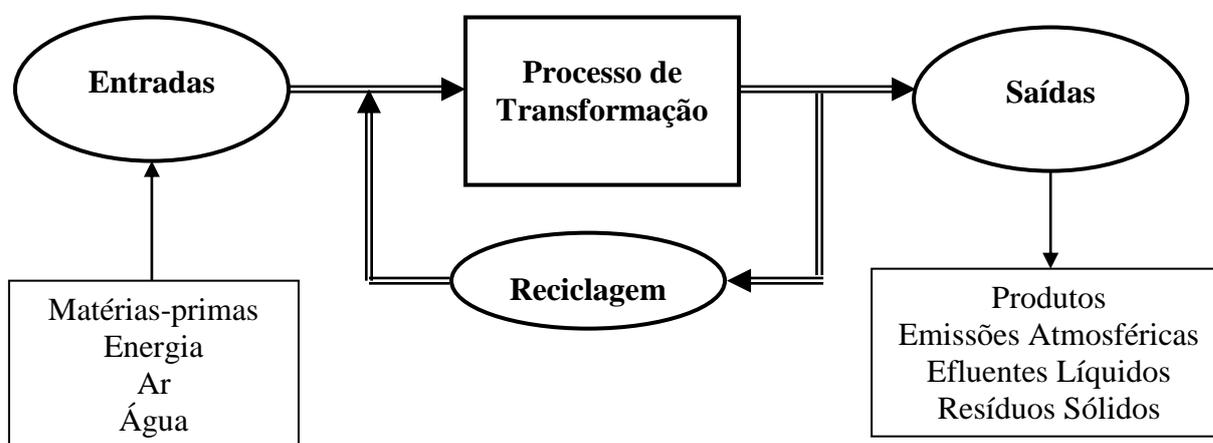


Figura 4.2 – Processo Produtivo

Como se pode perceber pela Figura 4.2, os *outputs* (saídas) do processo de transformação do setor industrial não são somente produtos, mas, sim, emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos.

Para ampliar a discussão desse tópico sobre indicadores de sustentabilidade, destaca-se que é possível encontrar uma imensidão de indicadores de sustentabilidade

para as nações. O presente trabalho irá citar alguns dos mais importantes indicadores encontrados na literatura.

Existe uma linha de pesquisa que se dedica ao estudo dos indicadores ambientais macroeconômicos. Ela é denominada Contabilidade Ambiental Nacional, mas também pode ser chamada de Contabilidade de Recursos Naturais.

Nessa área de estudo, foram criados sistemas que buscam uniformizar os procedimentos necessários para obter indicadores ambientais com medidas convencionais de desempenho econômico. Os sistemas que merecem destaque são o Sistema Integrado de Contas Econômicas e Ambientais (SICEA) e a Matriz de Contas Nacionais incluindo Contas Ambientais (NAMEA).

O SICEA foi elaborado pelo escritório de estatística das nações unidas e tem o objetivo de expandir a capacidade informativa das contas nacionais sem alterar a coerência básica da estimativa do PIB e demais agregados macroeconômicos.

A NAMEA é um sistema que integra informações estatísticas de recursos ambientais, associando fluxos de emissões e outros impactos ambientais com as atividades econômicas que os geraram.

Além dos indicadores obtidos por meio do SICEA e a NAMEA, podem-se destacar os indicadores macroeconômicos criados a fim de ajustar o produto às questões ambientais e de bem-estar:

- *Measure of Economic Welfare* (medida de bem-estar econômico) – criado em 1972 para a economia dos EUA. Este índice inclui 3 tipos de ajustes ao PNB: reclassificação das despesas do PNB como consumo, investimento e gastos intermediários; introdução de aspectos como lazer e trabalho doméstico; correção para problemas de urbanização (saneamento, segurança pública, entre outros) (UNSD, 2010).

É importante destacar que o ajuste ambiental foi feito com a seguinte base: para cada um dos problemas considerados (contaminação de água, poluição do ar e disposição de resíduos), um padrão de qualidade ambiental foi estabelecido. Se as emissões ultrapassarem os padrões, um custo de remoção era calculado para restaurar o padrão exigido.

- *Net National Welfare* (Bem-estar nacional líquido) – baseado na medida de bem-estar econômico. O Japão desenvolveu seu indicador, que corrigiu a renda nacional para os seguintes fatores: investimentos que não geram bem-estar são

subtraídos; acréscimos são feitos para serviços governamentais, bens duráveis e atividades domésticas; são deduzidos efeitos da urbanização, poluição ambiental e tempo de lazer.

- *Índice of Sustainable Economic Welfare - ISEW (Índice de bem-estar econômico sustentável)* – É um índice monetário que visa substituir o PIB como medida de progresso das nações e vai muito além da medida total das atividades econômicas, pois leva em conta o quanto as políticas nacionais realmente resultam em melhor qualidade de vida para todos.

O cálculo do índice de bem-estar econômico sustentável é feito usando-se a seguinte fórmula:

$$\text{ISEW} = \text{gastos de consumo pessoais} + \text{despesas públicas não-defensivas} - \text{despesas privadas defensivas} + \text{formação de capital} + \text{trabalho doméstico} - \text{custos da degradação ambiental} - \text{depreciação do capital natural}$$

- *Environmental Sustainability Index (ESI)*- É um índice de sustentabilidade ambiental que classifica os países de acordo com as suas capacidades para proteger o ambiente durante as próximas décadas. Existe para aproximadamente 140 países e consiste na pesagem de 21 indicadores básicos, cada um deles com duas a oito variáveis que permitem caracterizar a sustentabilidade ambiental em escala nacional, entre elas a qualidade do ar e da água, a biodiversidade e a gestão dos recursos naturais (SEDAC, 2010). No âmbito das dimensões, são avaliadas: 1. Condições ambientais: qualidade do ar, qualidade da água, quantidade de água, entre outros; 2. Estresse ambiental: redução da poluição, menor stress no ecossistema, entre outros; 3. Vulnerabilidade humana: saneamento básico, trabalho infantil, saúde, entre outros; 4. Capacitação social e institucional: governança corporativa, investimento em ciência e tecnologia; 5. Condições econômicas globais: participação de acordos internacionais, cooperação em acordos ambientais, entre outros.
- *Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (IDS) do IBGE* – São indicadores de desenvolvimento sustentável do Brasil, com informações sobre a realidade brasileira que integram as dimensões social, ambiental, econômica e institucional. Elaborado em 2002, segue as orientações propostas pela Comissão de Desenvolvimento Sustentável (CDS), das Nações Unidas.

- *Indicadores de sustentabilidade do Banco Mundial* – O Banco Mundial (BIRD) desenvolveu intensa atividade no campo dos indicadores de sustentabilidade em sintonia com as iniciativas das demais organizações internacionais, com foco na avaliação do desempenho ambiental dos projetos em desenvolvimento por parte dos países tomadores de empréstimos. Em 1995, o banco acrescentou à sua estrutura a Unidade de Economia e Indicadores Ambientais (EEI), responsável pela publicação “Monitorando progressos ambientais: um relatório sobre os trabalhos em andamento”, que gerou grande interesse no uso de indicadores para medir o ritmo e a direção das mudanças no desenvolvimento ambientalmente sustentável. Segundo Silva (2008), o EEI inclui os **Indicadores de Desempenho Ambiental**, utilizados para monitorar o desempenho e os impactos de projetos, cujo manual foi publicado e atualizado em 1996/1999 e os **Indicadores de Desenvolvimento Mundial** (IDM), que trazem centenas de dados e levantamentos estatísticos sobre indicadores sociais, econômicos, ambientais e empresariais de mais de 180 países, inclusive do Brasil.
- *Calvert – Henderson Quality of Life Indicators* – Segundo Louette (2009), é um índice de mensuração da qualidade de vida dos Estados Unidos, que considera tendências e resultados econômicos, ambientais e sociais por meio de uma abordagem sistêmica. Os indicadores de qualidade de vida Calvert-Henderson surgiram da relação entre uma futuróloga internacional, Hazel Henderson, uma empresa de gerenciamento de ativos financeiros, o Calvert Group, e 12 estudiosos com conhecimento nas dimensões de qualidade de vida. Esses indicadores foram publicados, pela primeira vez, em 2000, em forma de livro, com o objetivo de contribuir para os esforços mundiais no sentido de desenvolver estatísticas abrangentes de bem-estar nacional que possam ir além dos indicadores macroeconômicos tradicionais. As 12 áreas usadas para ilustrar a condição dinâmica da qualidade de vida social, econômica e ambiental são: educação, emprego, energia, ambiente, saúde, direitos humanos, renda, infraestrutura, segurança nacional, segurança pública, lazer e habitação. Cada uma dessas áreas específicas é desdobrada em indicadores mais pontuais.
- *Dashboard of Sustainability* – Segundo Louette (2009), é um índice agregado de vários indicadores de desempenho econômico, social e ambiental que mostra, visualmente, os avanços dos países em direção à sustentabilidade, utilizando a

metáfora de um painel de veículo. Por meio dessa metáfora, são apresentadas avaliações econômicas, ambientais, sociais e institucionais específicas de cada país. Assim, é possível saber se eles se aproximam ou se distanciam de um panorama de sustentabilidade. O índice foi desenvolvido pelo Consultative Group on Sustainable Development Indicators, uma equipe internacional de especialistas em sustentabilidade coordenada pelo Instituto de Desenvolvimento Sustentável (IISD) do Canadá.

As principais experiências no mundo com a contabilidade dos recursos naturais em termos físicos são a Noruega, a França, Indonésia e Costa Rica desenvolvida pelo *World Resource Institute (WRI)*. O WRI é uma organização não governamental na área ambiental, fundada em 1982 e sediada em Washington, D.C., nos Estados Unidos (WRI, 2010).

O WRI organiza o seu trabalho em torno de quatro objetivos:

- **Clima, Energia e Transporte:** Proteger o clima global de novos danos devido a emissões de gases de estufa e ajudar a humanidade e a natureza a adaptarem-se às inevitáveis alterações climáticas.
- **Governança e Acesso:** Garantir ao público o acesso à informação e decisões quanto a recursos naturais e o meio-ambiente.
- **Mercados e Empreendimentos:** Explorar mercados e iniciativas para estender oportunidades econômicas e proteger o ambiente.
- **Gente e Ecossistemas:** Inverter a degradação rápida dos ecossistemas e assegurar a sua capacidade para prover seres humanos de bens e serviços necessários.

#### **4.2 Apresentação dos possíveis indicadores a serem utilizados na mensuração dos benefícios relacionados ao uso do gás**

A mudança do clima é inteiramente reconhecida como uma ameaça para o meio ambiente e é apontada, por alguns autores, como uma consequência ampla do consumo insustentável e dos padrões de produção. Os impactos previstos decorrentes das mudanças climáticas incluem o aumento do nível do mar com a possível inundação de áreas baixas, temperaturas mais altas, derretimento de geleiras e calotas de gelo, e padrões climáticos extremos, como inundações e secas. Como o tema de mudança

climática tem uma relação forte com uso de energia no setor industrial, ressalta-se a importância do presente trabalho focar o uso do GN na indústria como objeto de estudo, pois trata-se de uma fonte de energia mais limpa em comparação a muitos dos combustíveis usados nos processos produtivos.

O uso do gás natural na indústria contribui para a eficiência energética, pois se trata de um combustível com poder calorífico mais alto que alguns dos seus energéticos substitutos. O GN é o combustível escolhido entre as várias opções de fonte de energia com eficiência de queima menor (ex. carvão vegetal, lenha, carvão mineral). Isso contribui para a obtenção de processos menos intensivos em energia.

Para demonstrar a colaboração dos equipamentos a gás natural para o alcance da sustentabilidade das empresas, é importante fazer uma analogia dos diversos indicadores de sustentabilidade apresentados com as informações disponíveis sobre indicadores ambientais e econômicos relacionados com o uso de equipamentos para, depois, evoluir para o assunto de maior interesse para este trabalho, que é a identificação das variáveis (indicadores) usadas na análise por envoltória de dados.

Com relação aos indicadores de sustentabilidade de dimensão ambiental, serão coletadas somente informações de emissões de dióxido de carbono, pois esse indicador serve como parâmetro na avaliação dos diversos energéticos com relação aos impactos que poderão acarretar relacionados com às mudanças climáticas. Vale ressaltar que a literatura disponível no meio científico identifica o volume de CO<sub>2</sub> emitido por cada energético nas suas diversas aplicações industriais a partir do volume de energético consumido. Isso favorece a obtenção dos resultados pretendidos por este trabalho, pois permite mensurar o nível de emissão desse GEE para cada energético utilizado nas caldeiras e aquecedores.

Com relação aos indicadores de sustentabilidade da dimensão econômica relacionados ao tema, verificou-se a necessidade de obter informações sobre uso de energia. Os indicadores relevantes para o presente trabalho são: gasto com consumo de combustível e/ou relação R\$/1.000 Kcal. Será possível obter essa informação consultando manuais de diversos fabricantes de equipamentos para ficar a par do consumo de energético de cada modelo de caldeira e aquecedor; o site da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis para obter informações do preço do petróleo, seus derivados e do gás natural; e entrando em contato com diversos fornecedores de energéticos das regiões estudadas.

Além dos indicadores ambientais e econômicos mencionados acima, o trabalho irá utilizar o indicador de eficiência térmica. Esse indicador tem forte relação com dois indicadores de sustentabilidade de dimensão econômica das Nações Unidas que são: consumo de energia e intensidade de uso de energia.

## Capítulo 5 - Método

---

Em atenção aos propósitos deste estudo, a pesquisa realizada será de natureza quantitativa e qualitativa. Tanto a pesquisa quantitativa quanto a qualitativa terão caráter descritivo e exploratório.

A pesquisa quantitativa pode ser classificada como descritiva, pois um dos propósitos do projeto é obter informações sobre determinada população, como identificar o número de empresas do setor industrial dos Estados do Amazonas e de São Paulo que consideram o impacto ao meio ambiente como um fator que influencia na adoção do gás natural, em seus processos produtivos. A pesquisa também pode ser considerada exploratória, pois um dos propósitos do projeto é explorar um tema pouco estudado - a inovação tecnológica de processo por meio da adoção do gás natural.

Segundo Hair et al. (2005, p.83), “a pesquisa exploratória é útil para desenvolver uma melhor compreensão do que está sendo estudado”.

As atividades que compõem o método são apresentadas pelos tópicos seguintes.

### **5.1 Realização da pesquisa bibliográfica**

A pesquisa bibliográfica é exploratória e orientada pela consulta em livros, revistas científicas, artigos, teses e outros. Essa revisão foi constituída pelos seguintes assuntos: 1. Reservas e produção de GN nos Estados do Amazonas e de São Paulo; 2. Desenvolvimento sustentável; 3. Indicadores de Sustentabilidade; 4. Técnica do incidente crítico (TIC); 5. Análise conjunta (AC); e 6. Análise por envoltória de dados (DEA).

Os tópicos 1, 2 e 3 foram abordados pelos capítulos anteriores e os que compreendem assuntos do método de pesquisa, tais como TIC, AC e DEA, são tratados no presente capítulo.

Todo esse levantamento bibliográfico provê aporte teórico à pesquisa realizada.

### **5.2 Usos da técnica do incidente crítico (TIC) e da análise conjunta (AC)**

Esta seção trata da primeira etapa do método de pesquisa, que consiste no uso da técnica do incidente crítico (TIC) e da análise conjunta (AC). A aplicação da técnica do incidente crítico fornecerá os atributos (fatores intervenientes) que os consumidores consideram importantes no processo de escolha de um equipamento a gás. A análise conjunta servirá para determinar a utilidade e importância relativa dos atributos relevantes na escolha do consumidor.

Segundo Hair (2005), a maioria dos problemas em administração envolve muitas variáveis. Os administradores consideram diversas dimensões de desempenho quando avaliam seus funcionários. Os consumidores avaliam muitas características dos produtos ao decidirem quais vão comprar. Muitos fatores influenciam as ações que um corretor recomenda. Os clientes de restaurantes consideram vários fatores ao decidirem onde comer. À medida que o mundo se torna mais complexo, mais fatores influenciam as decisões tomadas pelos administradores. Assim, os pesquisadores em administração devem, cada vez mais, basear-se em métodos mais sofisticados de análise de dados.

Quando os problemas em administração envolvem três ou mais variáveis, são inerentemente multidimensionais e requerem o uso de análise multivariada. Por exemplo, os consumidores que estiverem comparando supermercados poderão considerar a variedade e o frescor dos produtos, a localização do estabelecimento, o horário de atendimento, a limpeza, a cortesia, a atenção dos funcionários, entre outras

características. Outro exemplo seria o de um empresário (no papel de consumidor) interessado em obter melhorias com a introdução do gás natural em seu processo produtivo. Ele irá comparar as inúmeras opções de energéticos disponíveis no mercado e analisar o preço, as características de combustão, a eficiência térmica, o nível de poluentes emitidos durante o uso, a disponibilidade deste no local onde está localizada a empresa, a facilidade de adaptação do combustível aos processos produtivos e os demais atributos peculiares do novo energético.

Com tantos atributos, os pesquisadores em administração precisam de técnicas estatísticas multivariadas para compreender totalmente esses problemas complexos.

Diante do exposto acima, a análise dos dados será qualitativa e quantitativa, por meio, respectivamente, da técnica do incidente crítico e da análise conjunta, sendo essa última uma técnica de estatística multivariada de análise de dados. Segundo Kroes e Sheldon (1988), ela enquadra-se nos métodos de Preferência Declarada (PD), os quais se referem a uma família de técnicas que usa a declaração individual de entrevistados sobre suas preferências para estimar a função utilidade.

### **5.2.1 Técnica do incidente crítico**

A Técnica do Incidente Crítico surgiu nos anos 50 a partir da necessidade, encontrada por diversos pesquisadores, de estruturar maneiras de mensurar o comportamento humano. A sua abordagem é atribuída a John C. Flanagan (1954), que a definiu como um conjunto de procedimentos para coletar dados observáveis diretamente por meio do comportamento humano, a fim de solucionar problemas práticos e desenvolver amplos princípios psicológicos.

A TIC foi desenvolvida durante a 2ª. Guerra Mundial, quando Flanagan, chefe do programa de psicologia da Força Aérea Americana, analisou os incidentes reais de sucesso e falha no treinamento dos pilotos, e, com isso, trabalhou para explicar o comportamento que direcionava os resultados positivos e negativos. A técnica foi amplamente estudada e desenvolvida por muitos psicólogos.

Segundo Castro (2006), a TIC tem como característica a clareza no aspecto das melhores e piores práticas de cada estudo, ou seja, busca os extremos positivo e negativo do comportamento em estudo. De acordo com esse autor, há três suposições geralmente associadas a esta técnica:

- O termo incidente crítico refere-se a uma cena claramente demarcada do que se quer medir;
- O incidente crítico não será válido no caso de não ser possível obter uma detalhada medida para o comportamento real;
- O incidente crítico, por si só, é uma medida básica de análise.

Por meio de um incidente crítico, é possível entender melhor qualquer atividade humana, o que permite previsões sobre a ação humana. Para um incidente ser crítico, ele deve ocorrer em situações nas quais a intenção da ação é claramente identificada pelo observador, e suas consequências são definidas de tal forma que não haja dúvidas sobre os seus efeitos. Em outras palavras, o incidente crítico representa o desempenho organizacional sob o ponto de vista do cliente. No caso do presente trabalho, representa o desempenho do processo produtivo ou equipamento após a introdução do novo energético, sob o ponto de vista do empresário.

De modo geral, a TIC procura obter informações de clientes sobre serviços ou produtos.

Flanagan (1954) estabeleceu cinco etapas fundamentais, que serão orientadoras da utilização da técnica nesta proposta:

1) Estabelecimento do objetivo geral do estudo:

Definição, de forma adequada, do propósito da pesquisa. Este passo é essencial para a realização da pesquisa, uma vez que, sem os objetivos, o planejamento e a avaliação são impossíveis de realizar.

Para o presente trabalho, o objetivo geral da técnica do incidente crítico foi identificar os atributos (fatores intervenientes) que os consumidores consideram importantes no processo de escolha de um equipamento a gás.

2) Desenvolvimento de um plano de coleta de dados:

Esta etapa diz respeito a planejar e identificar como os incidentes críticos, relacionados com o propósito da pesquisa serão coletados. O pesquisador deve ser capaz de identificar incidentes práticos e relevantes para o propósito do estudo, além de ser capaz de determinar qual a importância do efeito desses incidentes (positivo/negativo) para o objetivo geral do trabalho. Este entendimento direcionará o desenvolvimento dos critérios a serem utilizados na observação e na coleta de dados. Nesta etapa, também devem ser selecionados os observadores que participarão deste trabalho.

Para esta tese de doutorado, foram selecionadas para fazer parte da coleta de dados dos incidentes, empresas de médio e grande porte consideradas grandes emissoras de CO<sub>2</sub> e com potencial uso do gás natural em seus processos produtivos.

### 3) Coleta de dados:

Este passo compreende a definição da forma da coleta de dados, se por entrevistas ou por meio de relatórios elaborados pelo pesquisador. Os dados devem ser objetivos para validarem o comportamento das pessoas.

A coleta de dados do trabalho em questão foi feita por meio de entrevistas com pessoas e por e-mail, utilizando-se um breve questionário elaborado pelo pesquisador contendo as seguintes perguntas:

i) Cite 10 fatores que influenciam positivamente no processo de adoção do GN na empresa.

ii) Cite 10 fatores que influenciam negativamente no processo de adoção do GN na empresa.

### 4) Análise dos dados:

A análise foi feita de forma resumida, e os dados necessários foram organizados de tal forma que possibilitassem a utilização de maneira prática destes. Flanagan (1954) reconhece que esse é o passo que apresenta menor objetividade entre os demais.

### 5) Interpretação dos dados:

Este é o último passo. Além da interpretação dos dados, foi elaborado o relatório final do estudo, constituído de uma lista dos incidentes observados ou coletados nas entrevistas.

Estabelecido o entendimento da técnica qualitativa do Incidente Crítico, introduz-se a seguir o método da técnica estatística multivariada de Análise Conjunta.

## 5.2.2 Análise conjunta

Dentre os métodos que usam a declaração individual de entrevistados sobre suas preferências para estimar a função utilidade, tais como análise conjunta, medição funcional, análise de *“trade-off”* e método de transferência de preço, decidiu-se usar a análise conjunta, que de acordo com Malhotra (2001), é um método que procura determinar a importância relativa dada aos atributos (fatores intervenientes) relevantes na escolha do consumidor e à utilidade que eles associam aos níveis de atributos.

Para Hair *et al.* (2005), a análise conjunta é uma técnica multivariada usada especificamente para entender como os respondentes desenvolvem preferências por produtos ou serviços. É baseada na premissa simples de que os consumidores avaliam o valor de um produto/ serviço/ idéia (real ou hipotética) combinando as quantias separadas de valor fornecidas por cada atributo.

Atribui-se o início da análise conjunta ao ano de 1964, com o artigo escrito por R. Duncan Luce, um psicólogo e matemático, em conjunto com o estatístico John W. Tukey (GREEN & SRINIVASAN, 1978).

De acordo com Hair *et al.* (2005), a análise conjunta tem atraído atenção, desde meados da década de 1970, como uma técnica que retrata, de forma realista, decisões de consumidores. Essa técnica desenvolveu-se a partir da necessidade de analisar os efeitos dos fatores/atributos (variáveis independentes), que são frequentemente especificados em termos qualitativos ou medidos aproximadamente.

Vale destacar que o método ganhou ampla aceitação e uso em muitas indústrias na década de 1980. O uso acelerado de análise conjunta coincide com a ampla introdução de programas de computador que integram o processo inteiro, desde a geração de combinações de valores de variáveis independentes a serem avaliados até a criação de simuladores de escolha para prever escolhas de consumidores em muitas formulações alternativas de produtos e serviços (HAIR *et al.*, 2005).

Na AC, os pesquisadores descrevem produtos e serviços por meio de um conjunto de atributos e níveis e, a partir disso, quantificam o interesse de consumo para todos os produtos (McCULLOUGH, 2002).

Para o caso do gás natural, tem-se como exemplo de atributo o impacto ao meio ambiente. Os níveis relacionados a esse atributo seriam: 1) baixo impacto ao meio ambiente; e 2) alto impacto ao meio ambiente.

Na análise, os entrevistados se deparam com estímulos que combinam diferentes níveis de atributos e são levados a avaliar esses estímulos de acordo com a sua conveniência (MALHOTRA, 2001).

A AC baseia-se na estimativa da função utilidade por meio da percepção dos entrevistados frente a estímulos obtidos na pesquisa de campo, permitindo, a partir desta função, avaliar quais os cenários que mais agradam os entrevistados e calcular a utilidade de cada atributo representativo do produto ou serviço (CASTRO, 2006). Nesse sentido, a definição da função utilidade se faz necessária.

Utilidade é um julgamento subjetivo de preferência único para cada indivíduo. Ela engloba todas as características de produto ou serviço, tangíveis e intangíveis, e como tal é uma medida de preferência geral. Em análise conjunta, utilidade é tida como baseada no valor colocado em cada um dos níveis dos atributos e expressa em uma relação que reflete a maneira como é formulada para qualquer combinação de atributos. Diante disso, poder-se-iam somar os valores de utilidade associados a cada característica de um produto ou serviço para chegar a uma utilidade geral. Então, se assumiria que os produtos ou serviços com maiores valores de utilidade são preferidos e têm uma maior chance de escolha (HAIR *et al.*, 2005).

Segundo Malhotra (2006), o modelo básico de análise conjunta é um modelo matemático que expressa a relação fundamental entre atributos e utilidade em análise conjunta, como representado pela Expressão 5.1 seguir.

$$U(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{k_i} \alpha_{ij} x_{ij} \quad (5.1)$$

$U(X)$  = utilidade global de uma alternativa

$\alpha_{ij}$  = contribuição de valor parcial ou utilidade associada ao  $j$ -ésimo nível

( $j, j = 1, 2, \dots, k_i$ ) do  $i$ -ésimo atributo ( $i, i = 1, 2, \dots, m$ )

$k_i$  = número de níveis do atributo  $i$

$m$  = número de atributos

$x_{ij} = 1$  do  $j$ -ésimo nível do  $i$ -ésimo atributo está presente

$x_{ij} = 0$  em caso contrário

Para Castro (2006), a função utilidade devidamente ajustada permite:

- Estabelecer a importância relativa entre atributos de interesse;
- Determinar os valores marginais de substituição entre os vários atributos e dinheiro, mesmo para aqueles de difícil quantificação;
- Sua utilização na predição de modelos de demanda;
- Determinar a elasticidade da demanda.

Já a importância relativa, que demonstra a importância de cada atributo em relação aos outros, é dada pela Expressão 5.2:

$$W_i = \frac{I_i}{\sum_{i=1}^m I_i} \quad (5.2)$$

em que  $I_i = \{ \max(\alpha_{ij}) - \min(\alpha_{ij}) \}$

De acordo com Castro (2006), em função de suas características, uma pesquisa de análise conjunta deve ser cuidadosamente planejada. Logo, a maioria dos autores sugere a utilização do método científico em pesquisa de *marketing*.

Nesse sentido, a estrutura de etapas de uma pesquisa de análise conjunta deve ser compatível com as do método científico, de uma pesquisa de *marketing* e de um planejamento experimental. A compatibilidade entre essas áreas, que são a base de qualquer pesquisa de análise conjunta, pode ser obtida por meio da integração de suas etapas, que são representadas no Quadro 5.1 (BATTESINI, 2002).

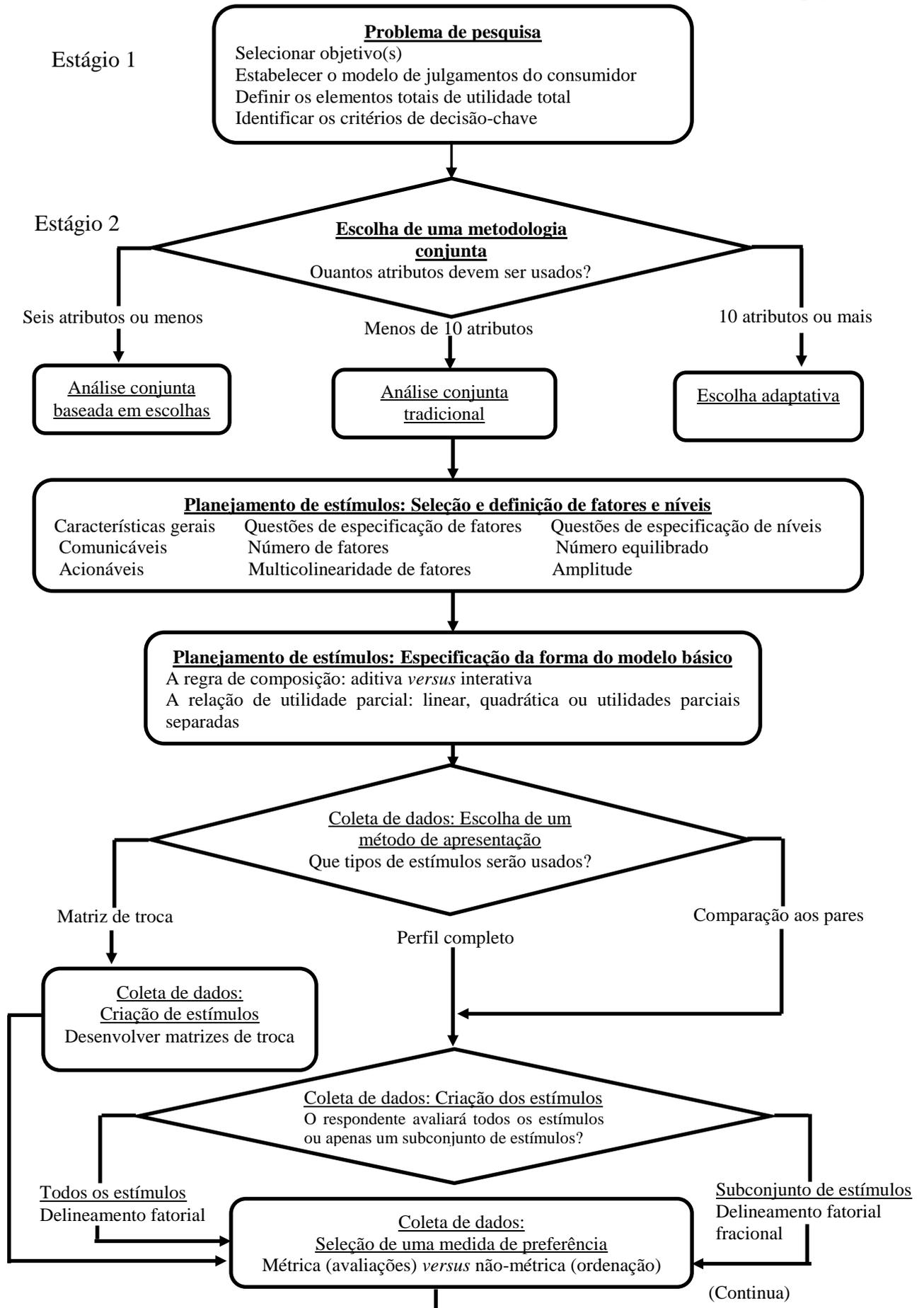
<b>Etapas</b>	<b>Método Científico</b>	<b>Pesquisa de Marketing</b>	<b>Planejamento Experimental</b>
1	Definição do objeto de observação	-	-
2	Observação do problema	Definição do problema e dos objetivos da pesquisa	Identificação e estabelecimento do problema
3	Formulação de hipóteses	Desenvolvimento do plano de pesquisa	Escolha dos fatores e seus níveis Seleção da variável de resposta Escolha do projeto experimental
4	Experimentação	Coleta de informações	Execução do experimento
5	Análise dos resultados experimentais	Análise das informações	Análise dos dados
6	Conclusão sobre a validade das hipóteses	Apresentação das conclusões	Conclusões e recomendações
7	Generalização a respeito das conclusões	-	-

Quadro 5.1 – Etapas do Método Científico de uma pesquisa de marketing e de um planejamento experimental

Fonte: BATTESINI (2002)

Segundo Hair *et al.* (2005), o pesquisador deve tomar várias decisões-chave ao planejar o experimento e analisar seus dados. A Figura 5.1 apresenta os passos gerais seguidos no delineamento e execução de um experimento de análise conjunta.

Como definiu Castro (2006), o processo de decisão começa na especificação dos objetivos da análise conjunta. Em seguida, as questões relacionadas ao verdadeiro plano de pesquisa são abordadas e as suposições, validadas. O processo de decisão, então, considera a real estimação dos resultados conjuntos, a interpretação dos resultados e os métodos usados para validar os resultados.



(Continuação)

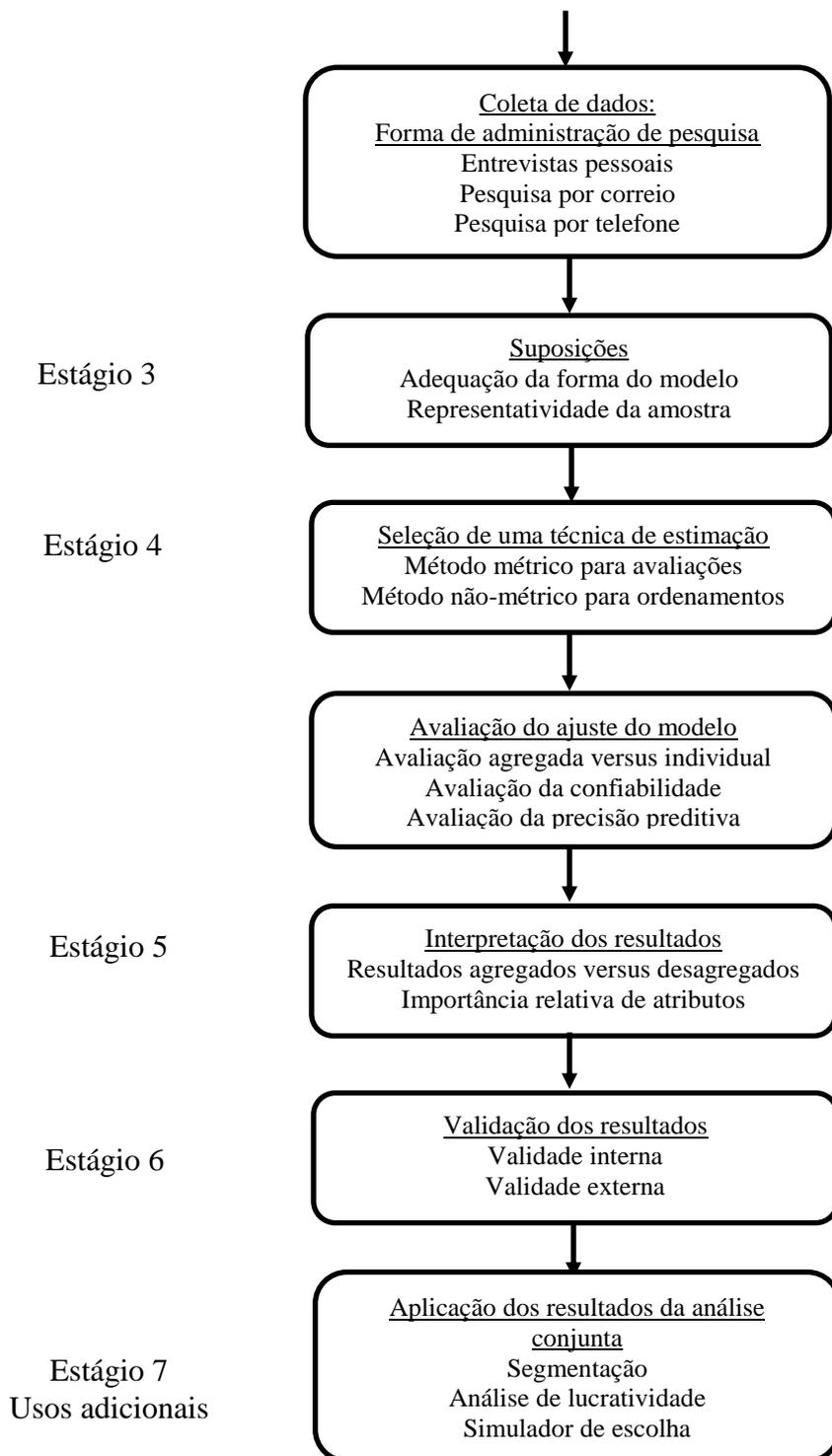


Figura 5.1 - Estágios do diagrama de decisão da análise conjunta  
Fonte: Hair (2005)

Segundo Hair *et al* (2005), os estágios da pesquisa de análise conjunta são definidos abaixo.

### **Estágio 1 - Objetivos da análise conjunta:**

Esta é uma etapa comum a toda pesquisa de *marketing*, em que se define a necessidade do uso de uma pesquisa experimental como a análise conjunta. Uma vez estabelecido o problema de *marketing*, é preciso definir o problema da pesquisa e identificar com precisão o seu objetivo. Segundo Castro (2006), o objetivo geral da análise conjunta é estimar um modelo de preferência, baseado na importância de cada atributo, por meio das respostas dadas pelos respondentes aos estímulos apresentados.

Segundo Camioto (2009), em análise conjunta o delineamento experimental na obtenção de um modelo de preferência tem como objetivo determinar as contribuições das variáveis independentes, e de seus níveis, na determinação das preferências do consumidor, além de estabelecer um modelo válido de seu julgamento.

Assim, a formulação da questão da pesquisa deve ser contextualizada considerando-se a possibilidade de descrever todos os atributos que conferem utilidade ou valor ao produto ou serviço em estudo e quais são os critérios-chave de decisão envolvidos no processo de escolha para esse tipo de produto ou serviço (CASTRO, 2006). Para isso, todos os atributos que potencialmente criam ou destroem a utilidade geral do produto ou serviço devem ser incluídos (HAIR *et al.*, 2005).

Antes de dar prosseguimento aos estágios, é importante antecipar o objetivo da AC. O objetivo da AC no presente trabalho é determinar a importância relativa dada aos atributos (fatores intervenientes) relevantes na escolha do gás natural como energético e a utilidade associada aos níveis desses atributos.

As definições dos demais estágios da AC para o caso em estudo estão apresentadas detalhadamente no capítulo 6, pois já se considera como parte dos resultados desse método de pesquisa.

### **Estágio 2 - Projeto de uma análise conjunta:**

Depois de definir a questão relacionada ao objetivo da pesquisa, o pesquisador passa a analisar questões específicas no delineamento e execução do experimento de análise conjunta.

Nesse estágio, o ponto inicial é definir qual método conjunto alternativo será utilizado na pesquisa. Segundo Hair *et al* (2005), com o tipo de modelo escolhido, o pesquisador deverá selecionar os estímulos, os atributos relevantes, quantos e quais

níveis para cada atributo, como medir a preferência e coletar os dados, e qual procedimento de estimação será utilizado. Em seguida, deve-se decidir qual a metodologia de análise conjunta será utilizada: tradicional, adaptativa, ou baseada em escolha. O Quadro 5.2 apresenta um resumo das metodologias existentes.

Os critérios utilizados para a definição da metodologia consideram três principais características: número de atributos, nível de análise e forma do modelo.

Característica	Metodologia conjunta		
	Tradicional	Adaptativa	Baseada em escolha
Número máximo de atributos	9	30	6
Nível de análise	Individual	Individual	Agregada
Forma do modelo	Aditiva	Aditiva	Aditiva+efeitos de interação

Quadro 5.2 - Comparação de metodologias conjuntas alternativas  
Fonte: HAIR *et al.* (2005, p. 332)

A análise tradicional é baseada em um modelo aditivo simples que contém, no máximo, nove fatores. O método adaptativo acomoda um número grande de fatores, acima de 30, que seriam impraticáveis no método tradicional. O método baseado em escolha emprega uma única forma de apresentar os estímulos e difere no sentido de incluir interações diretamente; portanto, requer uma estimação em nível agregado. Este último prevê a estimação dos efeitos de interação.

Após a definição da metodologia, da quantidade de atributos, da forma do modelo e do nível de análise, o pesquisador deverá planejar os estímulos ou conjunto de atributos de bens ou serviços para proceder à coleta de dados. Vale ressaltar que todas essas características foram definidas no capítulo 6 desta tese.

O pesquisador deve levar em consideração que uma quantidade muito grande de fatores gera uma quantidade grande de estímulos, o que confunde os respondentes, e pode afetar a eficiência estatística e validade dos resultados (BITTENCOURT, 1999). Três regras podem ser utilizadas para identificar quais fatores incluir na pesquisa de análise conjunta:

1. escolher fatores importantes para o respondente em situação de compra;
2. escolher fatores que ainda possam ser alterados (dependendo do estágio de planejamento do produto); e
3. escolher fatores que sejam facilmente comparados com os de produtos concorrentes.

Na busca de um número razoável de fatores, o pesquisador deve ter em mente o pouco tempo que os respondentes estão dispostos a gastar analisando os estímulos. Em análise conjunta, normalmente, limita-se o número de fatores a seis ou um pouco menos. Pesquisas com nove ou mais fatores podem ser extensas e cansativas.

Outro cuidado que deve ser tomado é a seleção de fatores e níveis com características aceitáveis. O pesquisador deve garantir que as medidas sejam comunicáveis e acionáveis. Medidas comunicáveis são aquelas facilmente expressas para uma avaliação realista. Segundo Hair *et al.* (2005), métodos tradicionais de coleta de dados (papel ou computador) limitam os tipos de fatores que podem ser incluídos. Por exemplo, é difícil descrever a verdadeira fragância de um perfume ou a “sensação” de uma loção. As descrições escritas não capturam bem os efeitos sensoriais, a não ser que o respondente pegue o produto, inale a fragância ou use a loção. Para solucionar essa dificuldade de expressar efeitos sensoriais, foram desenvolvidas formas específicas de uso da análise conjunta com intuito de empregar a realidade virtual ou empregar todo o domínio de efeitos sensoriais e de multimídia para descrever o produto ou serviço (RESEARCH TRIANGLE INSTITUTE, 1996).

Com relação às medidas acionáveis, pode-se dizer que os fatores e níveis com estes tipos de medidas têm condições de serem colocados em prática, o que significa que os atributos devem representar um conceito que possa ser implementado precisamente. Segundo Hair *et al.* (2005), eles não devem ser atributos “vagos” como qualidade ou conveniência. Os níveis não devem ser especificados em termos imprecisos, como baixo, moderado ou alto.

Já a multicolinearidade entre fatores deve ser remediada. A correlação denota dependência entre os fatores, criando estímulos irrealistas. A correlação pode ser positiva ou negativa. De acordo com Green e Srinivasan (1990), um exemplo de correlação negativa ocorre quando, num caso hipotético de um carro, os fatores potência, em seu nível alto, e consumo de combustível, em seu nível baixo, aparecem no mesmo cenário. Nesse caso, o problema da correlação negativa pode ser solucionado de duas formas. A primeira opção de solução seria incluir “superatributos” para substituir conceitualmente aqueles fatores que estão correlacionados. Por exemplo, os fatores potência e consumo de combustível podem ser substituídos pelo “superatributo” desempenho do veículo.

Na segunda solução, o pesquisador exclui os estímulos irrealistas, renunciando aos conceitos de ortogonalidade, tolerando assim que alguns fatores estejam

correlacionados. Para um bom entendimento dessa segunda opção, compreenda-se como ortogonal a independência matemática (sem correlação), onde as estimativas das utilidades parciais sejam independentes uma da outra.

Além das características citadas dos fatores, também é importante destacar as particularidades envolvidas ao considerar o preço como um atributo. Este não se relaciona da mesma forma com os demais fatores, uma vez que possui um elevado grau de correlação com eles. Tal fato pode levar o pesquisador a considerar um método de análise conjunta capaz de modelar interações ou, no caso de não ser realizado nenhum ajuste específico, considerar essas questões na definição de níveis de preço e na interpretação dos resultados (CAMIOTO, 2009).

Os níveis de um fator são os diferentes modos de presença dos fatores no estudo, e se referem às quantidades ou qualidades específicas dos fatores. Eles são selecionados a partir da identificação das faixas de variação críticas dos fatores. Hair *et al.* (2005) observam que o número de níveis, o equilíbrio de níveis entre fatores e os intervalos dos fatores têm efeitos diferentes sobre as avaliações dos respondentes.

Segundo Castro (2006), a qualidade das conclusões da pesquisa depende da inclusão somente de níveis necessários. Devido à sobrecarga no número de estímulos, a qualidade dos dados pode diminuir, sendo necessário aumentar o número de respondentes que avalia determinado conjunto de estímulos. Esse aumento pode gerar uma menor confiabilidade nas estimativas.

Deve ser dada uma atenção quando o número de níveis entre fatores não é balanceado, uma vez que um número maior de níveis de um atributo, em relação aos demais, pode influenciar na importância atribuída pelo respondente àquele atributo e, dessa forma, levar a um aumento irreal no valor das utilidades parciais (HAIR *et al.*, 2005). Se a importância relativa de fatores é conhecida antes de qualquer coleta de dados, então o pesquisador pode expandir os níveis dos fatores mais importantes para evitar uma diluição de importância e capturar informação adicional sobre os fatores mais importantes (WITTINK *et al.*, 1992).

Com a finalidade de explicar a estrutura de preferência de um respondente a partir de avaliações gerais de um conjunto de estímulos, o pesquisador deve tomar duas decisões em relação ao modelo de análise. A primeira decisão é definir a regra de composição, e a segunda, selecionar a relação de utilidades parciais.

A regra de composição adotada para analisar a estrutura de preferência pode ser simplesmente aditiva ou, então, também incluir efeitos de interação. Nessa etapa, o pesquisador deve, com base no conhecimento adquirido nas etapas anteriores, estimar qual é a regra de composição mais adequada para modelar as preferências dos consumidores.

O modelo aditivo é a regra de composição mais comum, com a qual o respondente soma as utilidades parciais de cada atributo para obter o valor total de um conjunto de atributos. Já o modelo de acréscimo de efeitos de interação difere do aditivo, pois permite que certas combinações de níveis estejam abaixo ou acima de sua soma.

De acordo com Battesini (2002), quando é utilizado o modelo aditivo, é necessário um número menor de estímulos para avaliar as utilidades parciais do que quando o modelo inclui efeitos de interação. Com isso, a necessidade de avaliar efeitos de interação reduz o grau de fracionamento possível do número total de estímulos.

Quanto às relações entre os seus níveis, podem-se observar três alternativas:

- Linear;
- Quadrática;
- De utilidade parcial.

A Figura 5.2 ilustra essas três alternativas.

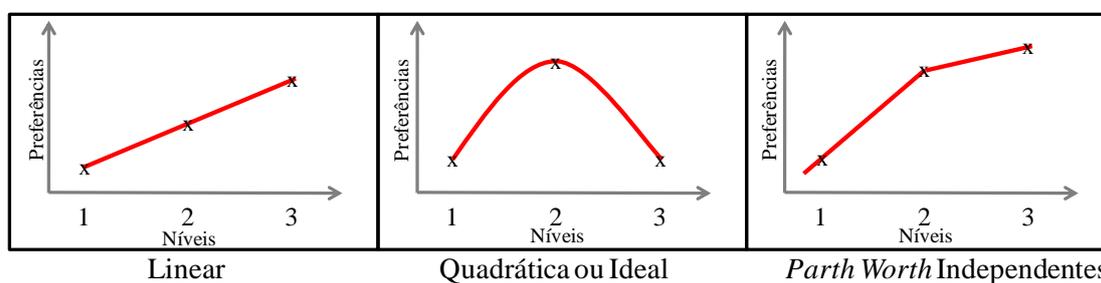


Figura 5.2 – Os três tipos básicos de relações entre níveis fatoriais em análise conjunta  
Fonte: HAIR *et al.* (2005, p. 332)

O modelo linear é o mais simples. Nele estimamos apenas uma utilidade parcial, a qual será multiplicada pelo valor do nível para chegar a utilidades parciais separadas para cada nível. Na forma quadrática, também conhecida como o modelo ideal, há uma

relação curvilínea simples. Já a forma de utilidades parciais separadas (em geral chamada simplesmente de forma de utilidades parciais) é a mais geral, permitindo estimativas separadas para cada nível. Quando se usam utilidades parciais separadas, o número de valores estimados é mais alto e aumenta rapidamente quando se acrescentam fatores e níveis, porque cada novo nível tem uma estimativa de utilidade parcial separada.

A última etapa do estágio de projeto da análise conjunta é transmitir ao respondente as combinações de atributos (estímulos) da maneira mais realista e eficiente possível, ou seja, a coleta de dados. Nesse sentido, a estimulação a ser utilizada na coleta de dados envolve a definição da combinação dos atributos para a composição dos estímulos, da escala de resposta e do método de apresentação dos estímulos.

De acordo com Hair *et al.* (2005), os três métodos de apresentação de estímulos mais amplamente associados à análise conjunta são: matriz de troca (escolha), perfil completo e comparação aos pares.

A matriz de troca (escolha) compara os atributos aos pares, classificando todas as combinações de níveis. Suas vantagens são: facilidade de apresentação e administração, já que são apresentados apenas dois atributos por vez. Entre suas limitações, tem-se: (1) sacrifício do realismo em função de apresentar apenas dois fatores por vez, (2) grande número de julgamentos, (3) tendência à confusão dos respondentes, (4) falta de habilidade de empregar estímulos pictóricos, (5) uso somente de respostas não-métricas, (6) falta de capacidade de usar delineamentos fatoriais fracionários para a redução do número de comparações.

Segundo Hair *et al.* (2005), o método do perfil completo é o mais popular, pelo seu evidente realismo e habilidade em reduzir o número de comparações por meio do uso de delineamentos fatoriais fracionários. Nessa abordagem, cada estímulo é descrito separadamente, em geral em um cartão de perfil. Essa técnica demanda menos julgamentos, mas cada um é mais complexo e os julgamentos podem ser ordenados ou avaliados. Além das vantagens já citadas, pode-se também destacar: (1) uma descrição mais realista conseguida com a definição de um estímulo em termos de um nível para cada fator, (2) uma descrição mais explícita das trocas entre os diversos fatores e (3) o possível uso de mais tipos de julgamentos de preferência, como intenções de compra, chances de troca, uso experimental. Entre suas limitações, tem-se: (1) o número elevado de fatores, que dificulta a administração dos estímulos e torna cansativo o processo de

entrevista. Com isso, o respondente sente-se tentado a simplificar o processo, concentrando-se em apenas poucos fatores, quando em uma situação real todos os fatores deveriam ser considerados; e (2) a ordem na qual os fatores são listados no cartão de estímulos pode ter um impacto sobre a avaliação. Logo, o pesquisador precisa revezar os fatores entre os respondentes, quando possível, para minimizar efeitos de ordem.

O método de perfil completo é recomendado quando o número de fatores é seis ou menos. Quando esse número varia de sete a dez, o método de troca se torna uma possível conciliação junto com o método de perfil completo.

Por último, o método de combinação entre pares combina os dois métodos anteriores; dois perfis incompletos são comparados e a resposta é a intensidade com que um perfil é preferido ao outro (CASTRO, 2006). Neste método, o respondente geralmente usa uma escala de avaliação para indicar o nível de preferência por um perfil em vez do outro. A característica notável da combinação aos pares é que o perfil, normalmente, não contém todos os atributos, como no caso do método de perfil completo, mas, em vez disso, apenas uns poucos atributos, por vez, são selecionados na construção de perfis. É semelhante ao método de troca, pois pares são avaliados, mas, no caso do método de troca, os pares avaliados são atributos, ao passo que no método de comparação aos pares, eles são perfis com múltiplos atributos (HAIR *et al.*, 2005).

Definido o método de apresentação, atinge-se a etapa de construção de estímulos. De acordo com Hair *et al.* (2005), o pesquisador deve escolher entre ordenação ou avaliação. Cada medida de preferência possui vantagens e limitações. A ordenação é uma medida confiável, uma vez que é mais fácil do que a avaliação quando o número de estímulos é pequeno (inferior a 20) e ela fornece maior flexibilidade para estimar regras de composição (aditivas ou efeitos de interação). Porém é uma medida de difícil administração, pelo fato de exigir o processo de entrevistas pessoais (processo mais demorado e custoso que os outros meios de coleta de dados, por exemplo, pesquisas por correio ou internet).

Sempre que possível, deve ser dada preferência às entrevistas pessoais. Dessa forma, o respondente pode contar com o auxílio do entrevistador para tirar alguma dúvida.

Nos casos em que se utilizam o telefone, correios ou internet, o pesquisador deve dar atenção especial à complexidade do instrumento de coleta de dados. Um

instrumento de coleta complexo pode ocasionar dificuldades no seu preenchimento, afetando a taxa de retorno e a confiabilidade da pesquisa.

Para evitar qualquer problema relacionado à qualidade dos dados obtidos, decidiu-se fazer a coleta por meio de entrevistas pessoais. Para isso, será necessário visitar cada um dos participantes contendo as características de interesse para o estudo (potencial consumidor do gás, grande emissor de CO<sub>2</sub> e considerado de médio ou grande porte), localizados nos Estados pesquisados.

### **Estágio 3 - Pressupostos da análise conjunta:**

Este estágio apresenta os pressupostos estatísticos da análise conjunta. Dentre as técnicas de análise multivariada, a análise conjunta é a que apresenta o menor conjunto restritivo de pressupostos que envolvem a estimação do modelo conjunto.

De acordo com Hair (2005), não há necessidade de testes estatísticos para a normalidade, a homocedasticidade e independência, geralmente realizados para outras técnicas de dependência.

Ainda que tenha menos restrições estatísticas, os pressupostos conceituais da análise conjunta são, na maioria das vezes, mais numerosos do que em qualquer outra técnica multivariada (CASTRO, 2006).

### **Estágio 4 - Estimação do modelo da análise conjunta e qualidade do ajuste:**

O pesquisador, a partir da definição da forma de medição da preferência, ordenação ou medida métrica de preferência (avaliação), deve optar por uma determinada técnica de estimação, que pode ser por programas de computador ou por meio de métodos como a regressão múltipla.

Entre os programas de computador mais populares e conhecidos estão o MONANOVA (análise monotônica de variância) (JOHNSON, 1975; KRUSKAL, 1965) e o LINMAP (SCHOECKER & SRINIVASAN, 1977). Esses programas fornecem estimativas de utilidades parciais de atributos, de modo que a ordem de classificação de sua soma (utilidade total) para cada tratamento está correlacionada tanto quanto possível com a ordem observada.

Para os casos de medidas métricas de preferência (por exemplo, avaliações, em vez de ordenações), muitos métodos, inclusive a regressão múltipla, podem estimar as utilidades parciais para cada nível de fator. Em ambos os casos (avaliações ou ordenações), qualquer tipo de relação, seja linear, ponto ideal (quadrática) seja utilidade parcial, pode ser estimada.

Quanto à avaliação da qualidade de ajustes, Camioto (2009) acredita que os resultados da análise conjunta são avaliados em precisão tanto em nível individual quanto agregado. O objetivo é determinar o quão consistentemente o modelo prevê o conjunto de avaliações de preferência dado por cada respondente. Essa avaliação pode ser para respostas métricas e não-métricas.

A avaliação da qualidade do modelo pode ser feita com a utilização de testes estatísticos não-paramétricos. As principais vantagens destes testes são: a independência das variáveis em relação à distribuição da amostra e o fato de não serem afetados pela presença de valores aberrantes.

Segundo Castro (2006), na análise estatística são utilizados os coeficientes de correlação de Spearman e Kendall's Tau.

A correlação de Spearman, cujo objetivo é medir o grau de associação entre variáveis, baseia-se na ordenação de duas delas sem qualquer restrição quanto à distribuição de valores (CASTRO, 2006).

O coeficiente de correlação,  $R$ , é determinado por meio da Expressão 5.3 abaixo.

$$R = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (5.3)$$

sendo  $d_i$  a diferença entre postos (previstos e observados).

Nesse teste desejam-se altos valores para os coeficientes, já que representam a correlação entre os postos previstos e os postos observados. Com isso, pode-se observar a qualidade do ajuste do modelo.

O teste de Kendall's Tau mede a correlação entre pares concordantes e discordantes. Este varia, geralmente, entre 0 e 1, em que os valores mais altos indicam que o modelo tem melhor capacidade de análise. Kendall's Tau calcula quantos pares concordantes há a mais que os discordantes divididos pelo número total de pares, incluindo pares com o mesmo valor de resposta (CAMIOTO, 2009).

Segundo Castro (2006), podem-se utilizar estímulos de validação (ou amostra *holdout*) para estimar a qualidade do ajuste. Isso ocorre, pois, na maioria dos experimentos conjuntos, o número de estímulos não excede substancialmente a quantidade de parâmetros, e sempre existe o potencial para “superajustar” os dados.

Para acrescentar o que já foi exposto até o momento, vale destacar que, para a estimação do modelo de preferência do cliente, será utilizado o software SPSS 13.0 for *windows*.

### **Estágio 5 - Interpretação dos resultados:**

O Estágio 5 do método de AC apresenta a interpretação dos resultados do experimento. Para isso, dois tópicos são considerados: a análise agregada versus a desagregada e a avaliação da importância relativa dos atributos.

A análise conjunta permite que as utilidades parciais sejam calculadas em três níveis: individual (desagregado), agregado e agregado por estrato.

A abordagem mais comum nos estudos de análise conjunta é a individual (desagregado), onde cada respondente é modelado separadamente e os resultados do modelo são examinados para cada respondente. No uso desse método, é realizado um exame das estimativas das utilidades parciais para cada fator, avaliando-se sua magnitude e padrão tanto para relevância prática quanto para a correspondência com quaisquer relações teóricas entre níveis. Vale ressaltar que, quanto maior a utilidade parcial (positiva ou negativa), maior o impacto que ela tem sobre a utilidade geral (HAIR *et al.*, 2005).

Já a análise agregada falha ao não reconhecer a heterogeneidade das preferências dos indivíduos, uma vez que é gerado um único modelo para representar todos os indivíduos. Enquanto que, na análise em nível agregado por estrato, é gerado um modelo para representar a preferência de um grupo de indivíduos, assim o modelo possui uma melhor capacidade de previsão (CHURCHILL & NIELSEN, 1996).

Os modelos agregados proporcionam uma clareza à interpretação dos dados; já os modelos desagregados permitem uma precisão dos métodos utilizados. Segundo Hair *et al* (2005), cabe ao pesquisador definir o propósito do estudo ao escolher o nível de análise.

Segundo Melo (2008), a razão entre os valores absolutos da amplitude das suas utilidades parciais e a soma dos valores absolutos das utilidades parciais de todos os fatores representa o valor da importância de cada fator numa escala percentual. Isso viabiliza a comparação entre os respondentes em uma escala comum, bem como dá significado à magnitude do valor de importância.

### **Estágio 6 - Validação dos resultados:**

De acordo com Castro (2006), a validação dos resultados de análise conjunta deve ser feita interna e externamente. A validação interna compreende a confirmação de que a regra de composição selecionada (aditiva ou com efeitos de interação) é apropriada ao modelo em estudo. O uso de estímulos de validação ou amostra *holdout*, para avaliar a precisão preditiva para a amostra individual ou no nível agregado, é uma saída apropriada.

Já a validação externa, segundo Hair *et al.* (2005), envolve a habilidade da análise conjunta em prever escolhas reais, ou seja, analisar a representatividade da amostra. Apesar de não haver avaliação do erro amostral nos modelos de nível individual - e nem faz sentido, pois o indivíduo é a própria população - o pesquisador deve, nos estudos agregados, garantir que a amostra seja representativa da população do estudo. Para Castro (2006), isso é particularmente importante quando o uso da análise conjunta servirá para fins de segmentação e simulação.

## **5.3 Análise por Envoltória de Dados (DEA)**

### **5.3.1 Por que utilizar a DEA e como utilizá-la?**

O presente trabalho busca fazer uma análise de eficiência em caldeiras e aquecedores do setor industrial. Para isso, a Pesquisa Operacional (PO) pode ser considerada como poderosa ferramenta, pois tem apresentado um acelerado desenvolvimento. Será utilizada a análise por envoltória de dados (*Data Envelopment Analysis* - DEA) como forma de analisar a eficiência produtiva relativa das caldeiras e aquecedores estudados. A DEA é uma técnica baseada em programação linear (PL) que possui o objetivo de medir o desempenho de unidades operacionais ou tomadoras de decisão (DMUs), quando a presença de múltiplas entradas e múltiplas saídas torna difícil a comparação (BIOND NETO; MELO; GOMES, 2003; VILELA, 2004).

A DEA foi desenvolvida como um método para estimar a eficiência comparativa de unidades organizacionais, tais como bancos, escolas, hospitais, agências governamentais, etc. A característica-chave que torna as unidades comparáveis em cada caso é que elas utilizam a mesma função, em termos de recursos de entradas e o mesmo tipo de saída. Destaca-se que o princípio básico desse método está relacionado à comparação de eficiência entre realidades operacionais e não entre um ideal inatingível

ou algo que seja considerado como produção ótima, sem observações práticas (PÉRICO, 2009).

A análise por envoltória de dados teve origem nos trabalhos de Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e de Banker, Charnes e Cooper (1984), sendo ambos os trabalhos baseados em Farrel (1957).

A DEA do presente trabalho será baseada na relação custo/benefício dos equipamentos (caldeiras e aquecedores). Os benefícios a serem considerados serão de natureza econômica e ambiental. Para isso, serão selecionadas as seguintes variáveis: gasto com consumo de combustíveis, eficiência térmica e nível de emissão CO<sub>2</sub> dos equipamentos. Todas essas variáveis são consideradas indicadores capazes de medir o desempenho e, ao mesmo tempo, diferenciar os equipamentos em estudo.

As caldeiras e os aquecedores a serem analisados serão aqueles que utilizam energéticos considerados substitutos do gás natural e ele próprio. Serão coletadas diversas informações desses energéticos e equipamentos, tais como preço, poder calorífico, fator de emissão de carbono e volume consumido de combustível, pressão de trabalho, vazão de vapor, e demais informações, com o intuito de comparar a eficiência produtiva relativa levando em consideração os benefícios estudados. Deve-se ressaltar a importância de se trabalhar com equipamentos que se assemelham, ao máximo, em termos de especificação técnica, mas que só se distinguem em termos do combustível consumido, pois um dos objetivos do trabalho é comparar a eficiência produtiva relativa dos equipamentos quando estão usando energéticos distintos (GN, óleo combustível, óleo diesel, GLP, entre outros).

O uso do DEA é importante para analisar os diversos benefícios que equipamentos a GN podem proporcionar às empresas, pois foi constatado no trabalho de mestrado conduzido pela mesma autora desta monografia que muitas vantagens de caráter ambiental e técnico não estavam sendo quantificadas na análise econômica dos projetos para uso do GN nas empresas, devido às dificuldades de consideração dessas vantagens nos métodos tradicionais de avaliação de investimentos.

### **5.3.2 Conceitos preliminares importantes**

A análise por envoltória de dados (DEA) é uma abordagem de programação matemática, alternativa aos métodos estatísticos tradicionais, que possibilita estimar a

eficiência relativa mediante uma fronteira de eficiência (MARIANO; ALMEIDA; REBELATTO, 2006a).

A DEA é um método que compara a eficiência de DMUs (Unidades Tomadoras de Decisões) levando em conta seus *inputs* e *outputs*. A eficiência total é atingida por uma DMU quando comparações com outras unidades não demonstram evidência de ineficiência do uso de qualquer *input* e *output*.

O conceito de eficiência de um objeto é definido como a divisão entre um indicador de desempenho desse objeto e o seu correspondente máximo (MARIANO; ALMEIDA; REBELATTO, 2006b).

Eficiência é a virtude ou característica (que pode ser atribuída a uma pessoa, máquina, técnica ou empreendimento) de conseguir o melhor rendimento com o mínimo de erros, dispêndio de energia, tempo, dinheiro ou meios (HOUAISS, 2001).

Na termodinâmica, por exemplo, o conceito de eficiência de um sistema energético é dado pela razão entre a energia útil (ou trabalho realizado por uma máquina, por exemplo) e a energia consumida.

A Expressão 5.4 abaixo mostra isso:

$$\text{Eficiência } (\eta) = W / E_{\text{consumida}} \quad (5.4)$$

Considere:

$W$  = Trabalho realizado;

$E_{\text{consumida}}$  = Energia total consumida pelo sistema.

Como o trabalho realizado por um sistema é sempre menor que a energia fornecida a esse sistema (devido às perdas), a eficiência será sempre um valor entre 0 e 1, podendo também ser expresso em percentagem, isto é, de 0 a 100%.

Vale ressaltar que a energia útil (ou trabalho) é igual à energia consumida menos as perdas. Diante disso, tem-se a seguinte Expressão:

$$E_{\text{útil}} = W = E_{\text{consumida}} - \text{Perdas.}$$

Com isso, a Expressão 5.4 pode ser substituída pela Expressão 5.5.

$$\text{Eficiência } (\eta) = 1 - \frac{\text{Perdas}}{E_{\text{consumida}}} \quad (5.5)$$

Segundo Goldemberg & Lucon (2008), a conversão de energia química em calor se dá pelo processo de combustão de forma eficiente. Por outro lado, a conversão de calor em energia mecânica possui em geral baixa eficiência, com alto nível de perdas para o meio externo.

Uma máquina térmica é um dispositivo que realiza trabalho por meio da transferência de calor de um corpo à temperatura elevada para um outro corpo à temperatura baixa (os corpos também são chamados de reservatórios térmicos). A Figura 5.3 abaixo ilustra essa transferência de calor entre reservatórios térmicos por meio da máquina térmica.

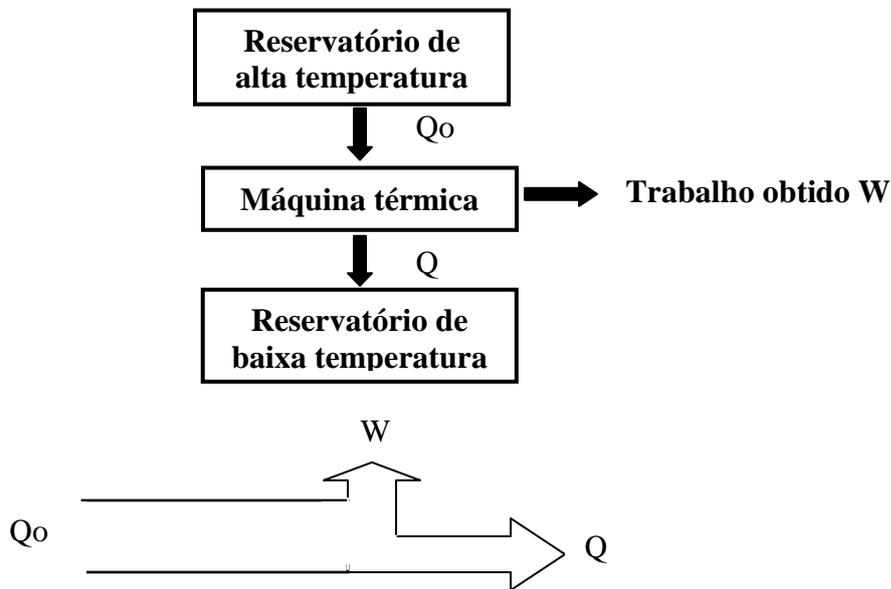


Figura 5.3 – Transferência de calor  
Fonte: Goldemberg e Lucon (2008)

Considerando-se um sistema isolado no qual uma fonte de calor envia uma quantidade  $Q_0$  para um dado aparelho (máquina térmica) para realizar um trabalho  $W$  e descartar uma quantidade  $Q$  de calor, aplica-se a Primeira Lei da Termodinâmica:  $Q_0 = Q + W$ . Como  $Q$  representa o calor rejeitado, a eficiência térmica é  $\varepsilon = W/Q_0 = (Q_0 - Q)/Q_0 = 1 - Q/Q_0$ .

Segundo IPT (1990), nos casos das caldeiras, pode-se calcular a eficiência térmica pela Expressão 5.6:

$$\eta_t = \frac{\dot{m}_v \times (h_v - h_a)}{\dot{m}_c \times \text{PCI}} \quad (5.6)$$

Essa Expressão 5.6 representa a relação entre a energia útil e a energia fornecida. Considere-se:

$\dot{m}_v$  = vazão em massa de vapor gerado, fornecido ao processo (não inclui o vapor gerado utilizado em sopradores de fuligem) (kg/h);

$h_v$  = entalpia específica do vapor na pressão e temperatura em que é gerado (kJ/Kg);

$h_a$  = entalpia específica da água de alimentação da caldeira (kJ/kg);

$\dot{m}_c$  = vazão em massa de combustível ( $\text{kg}_{\text{combustível úmido}}/\text{h}$ ).

PCI = poder calorífico inferior.

Para os aquecedores, usa-se a seguinte equação para calcular a eficiência térmica:

$$\eta_t = \frac{\dot{m}_{\text{água}} \times c_{p\text{água}} (h_v - h_a)}{\dot{m}_c \times \text{PCI}} \quad (5.7)$$

Considere-se:

$\dot{m}_{\text{água}}$  = vazão em massa da água (kg/h);

$c_{p\text{água}}$  = calor específico da água (kJ/kg°C).

Além do conceito de eficiência térmica, serão tratados, nos tópicos seguintes, mais três tipos de eficiência. Diante disso, cabe aqui introduzir esses conceitos:

- **Eficiência produtiva também chamada de eficiência total:** mede a capacidade de uma DMU transformar *inputs* em *outputs*, em proporções adequadas e de maneira produtiva;
- **Eficiência técnica:** é um índice que representa o quanto da eficiência total de uma empresa pode ser relacionada a fatores técnicos ou de engenharia;
- **Eficiência de Escala:** é um índice que representa o quanto da eficiência total de uma empresa pode ser relacionada a fatores econômicos ou de escala ou, em outras palavras, é um índice que está relacionado ao fato da empresa estar operando abaixo ou acima de sua escala ótima de produção.

Outro conceito importante para ser introduzido neste trabalho é o de DMU (Unidades Tomadoras de Decisões). Uma DMU é definida como toda organização que transforma um conjunto de entradas (*inputs*) em um conjunto de saídas (*outputs*). O conceito de DMU está ilustrado na Figura 5.4:

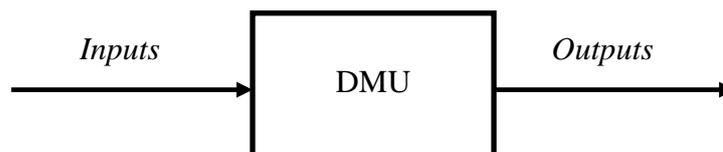


Figura 5.4 – Representação de uma DMU  
Fonte: Mariano, Almeida e Rebelatto (2006a)

Dependendo do tipo de DMU tratada, os *inputs* e *outputs* considerados poderão ser os mais diferentes possíveis. Podem-se citar os seguintes exemplos:

DMU	Inputs	Outputs
Manufatura	Insumos	Produtos
Serviços	Insumos	Serviços
Repartições públicas	Repasse de recursos	Número de atendimento ou qualidade do atendimento
Associações beneficentes	Quantidade de doações	Número de projetos sociais realizados ou tamanho da população beneficiada
Países	Gastos governamentais	PIB ou IDH
Indivíduo	Exercícios físicos ou tipo de alimentação	Condição de saúde
Veículos automotores	Preço ou custo de manutenção	Desempenho
Aeropostos	Infra-estrutura instalada ou número de funcionários	Nível de utilização ou qualidade do serviço
Caldeira	Consumo de energia Emissões de poluentes	Eficiência térmica

Quadro 5.3 – Relação dos tipos de DMU com possíveis *inputs* e *outputs*  
Fonte: Adaptado Mariano (2008)

Uma DMU pode ser uma empresa, uma unidade administrativa, uma pessoa ou, até, uma caldeira, como discutido no presente trabalho.

De acordo com Mariano, Almeida e Rebelatto (2006b), uma DMU pode ser do setor produtivo, de serviço ou, até mesmo, do setor público, podendo ou não visar lucro.

O conceito de produtividade nasce a partir da necessidade de se definir um indicador de desempenho para uma DMU. Segundo Campos (2004) e Catelli (1999), a produtividade pode ser definida como sendo a relação entre os *outputs* (saídas) e *inputs* (entradas) de uma determinada DMU (sistema). A Expressão 5.8 mostra o cálculo da produtividade para uma DMU que apresente um único *input* e um único *output*.

$$P = y / x \quad (5.8)$$

Considere-se:

P = produtividade atual de uma DMU;

y = quantidade do *output*;

x = quantidade do *input*.

Assim, a produtividade pode ser entendida como sendo um indicador que mede o quanto uma DMU consegue (em termos da quantidade do *output*) com uma quantidade unitária de *input*. A produtividade pode variar devido à diferença em termos da tecnologia de produção, da eficiência do processo de produção e do ambiente em que ocorre a produção (LOVELL, 1993).

Com base nos conceitos discutidos, chega-se à conclusão de que a eficiência de uma DMU pode ser calculada pela Expressão 5.9:

$$\text{Eficiência} = P/P_{\max} \quad (5.9)$$

Considere-se:

$P$  = produtividade atual da DMU;

$P_{\max}$  = produtividade máxima que pode ser alcançada por essa DMU.

Para entender melhor esse conteúdo, é necessário apresentar o conceito de fronteira de eficiência. Fronteira de eficiência é uma curva de máxima produtividade, considerando-se a relação ótima entre *inputs* e *outputs*, onde se localizarão todas as DMUs consideradas eficientes, enquanto as ineficientes se localizarão abaixo dela (CASA NOVA, 2002).

Segundo Mariano (2008), uma fronteira de eficiência é sempre definida pelo conjunto de DMUs que está sendo comparado, e uma DMU só poderá ser dita eficiente para aquele conjunto a partir do qual a fronteira de eficiência foi construída. Caso mude o conjunto considerado, também deverá mudar a fronteira de eficiência, pois, quanto mais produtivas forem as DMUs do conjunto comparado, maior a produtividade necessária para que uma DMU seja considerada eficiente.

A fronteira de eficiência é um gráfico onde todas as DMUs são representadas por meio de pontos. No eixo y desse gráfico, encontram-se os valores do *output* virtual e, no eixo x, encontram-se os valores do *input* virtual de cada DMU analisada. A Figura 5.5 apresenta um exemplo de uma fronteira de eficiência. As DMUs que se encontram sobre a linha preta destacada, que é a fronteira propriamente dita, são todas eficientes, enquanto as DMUs que se encontram abaixo dessa linha são todas ineficientes. As DMUs representadas pelos pontos A e B da Figura 5.5 são eficientes, pois ambas se encontram no limite máximo da produtividade que podem alcançar quando comparadas com suas concorrentes.

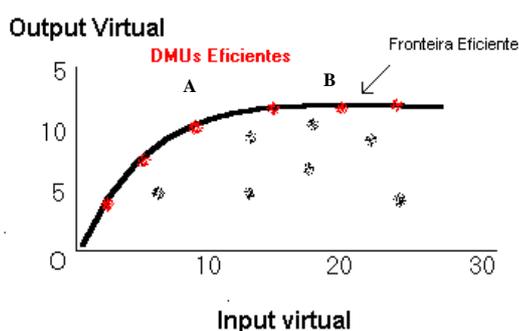


Figura 5.5 – Fronteira eficiente de produção

Alguns cálculos podem ser realizados graficamente, a partir de uma fronteira de eficiência; são esses procedimentos gráficos que dão origem às técnicas não-paramétricas de análise de eficiência. A produtividade de uma DMU, por exemplo, pode ser calculada pela tangente do ângulo da reta que liga a origem a essa DMU ( $\alpha$ ), como mostra a Figura 5.6.

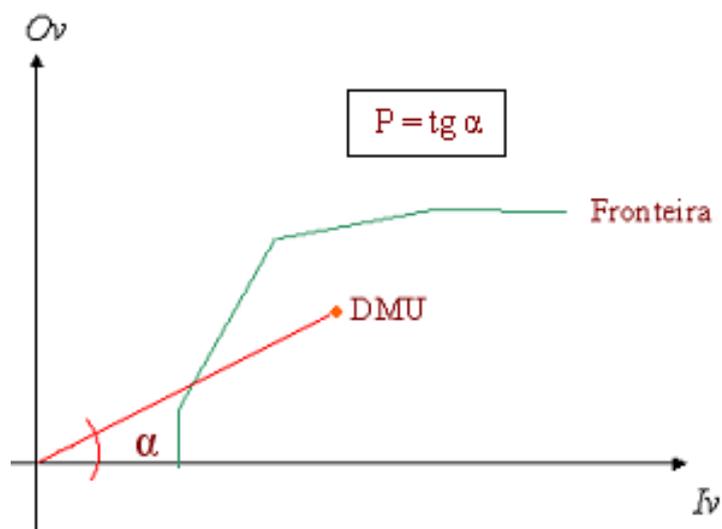


Figura 5.6– Cálculo da produtividade de uma DMU  
Fonte: Mariano (2008)

Já a eficiência de uma DMU pode ser estimada utilizando-se, como base, a distância relativa dessa DMU até a fronteira. Quanto mais longe uma DMU estiver da fronteira, tanto menor sua eficiência.

Toda DMU ineficiente pode ser projetada na fronteira de eficiência. Essa projeção será uma estimativa da meta que essa DMU ineficiente deve atingir para ser considerada eficiente.

### 5.3.3 Etapas da aplicação da DEA

Para uma adequada aplicação da DEA, faz-se necessário que as DMUs atendam a alguns pré-requisitos com o objetivo de obter resultados corretos. Os pré-requisitos são:

- a) as DMUs devem ser homogêneas, ou seja, realizar tarefas semelhantes e ter objetivos comuns;
- b) as DMUs devem atuar sob as mesmas condições de mercado;
- c) os *inputs* e *outputs* devem ser os mesmos, as variáveis devem ser apenas quanto à intensidade ou quanto à magnitude.

Vale ressaltar que esses pré-requisitos são exigidos para qualquer tipo de DMU, ou seja, pessoa, equipamentos e demais DMUs.

Vale ressaltar que o método para se analisar a eficiência de uma DMU é sempre o mesmo, independentemente da técnica escolhida, sendo a escolha da técnica, do modelo e da perspectiva apenas uma das várias etapas desse método. A Figura 5.7 a seguir apresenta a sequência dessas etapas.

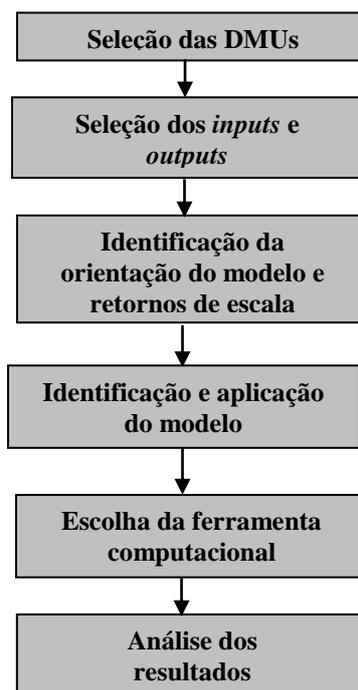


Figura 5.7 - Etapas do método de cálculo da eficiência  
Fonte: Adaptado Mariano (2008)

As etapas apresentadas pela Figura 5.7 estão descritas a seguir.

- **Seleção da DMU**

Segundo Mello (2005), as DMUs do conjunto de DMUs adotado devem possuir os mesmos *inputs* e os mesmos *outputs*, podendo eles variar apenas em intensidade. Além disso, as DMUs desse conjunto devem ser homogêneas, isto é, devem realizar as mesmas tarefas, assim como os mesmos objetivos, trabalhar nas mesmas condições de mercado e ter autonomia na tomada de decisões; caso as DMUs não fossem homogêneas, não faria sentido compará-las, visto que nenhuma conclusão a respeito da eficiência poderia ser inferida, devido às enormes diferenças entre elas.

Segundo Périco (2009), as unidades a serem avaliadas necessitam ser suficientemente semelhantes, de forma que a comparação faça sentido, mas também suficientemente diferentes, de forma que se possa discriminá-las.

De acordo com Mariano (2008), caso se deseje calcular a eficiência de um conjunto muito pequeno de DMUs que possuam muitos *inputs* e muitos *outputs*, podem ocorrer algumas distorções que certamente comprometerão os resultados obtidos. Isso ocorre porque o número de DMUs será insuficiente para que seja determinada a fronteira de eficiência de maneira adequada.

Se o número de unidades utilizadas, comparado ao número de *inputs* e *outputs*, for pequeno, é provável que muitas das unidades sejam consideradas como 100% eficientes. Isso porque qualquer unidade considerada como tendo o melhor desempenho e que execute a melhor relação entre *output* e *input* será considerada eficiente.

Segundo Lins e Meza (2000), o número de DMUs deve ser, no mínimo, o dobro do número de variáveis utilizadas no modelo, em se tratando de modelos DEA tradicionais. Para Nunamaker (1985 apud ABEL, 2000), o número de DMUs deveria ser de, no mínimo, três vezes maior que a soma dos produtos e insumos incluídos na especificação.

É importante que um dos critérios seja respeitado, uma vez que ambos são considerados válidos.

Como já revelado, as DMUs a serem estudadas para identificação da eficiência são caldeiras e aquecedores. As caldeiras serão analisadas separadamente dos aquecedores.

Como na análise do presente trabalho foram incluídas 3 variáveis (2 *inputs* e 1 *output*), o número mínimo de DMUs foi atendido tanto na análise das caldeiras como na

análise dos aquecedores. É importante destacar que foram analisadas 45 caldeiras e 35 aquecedores.

- **Seleção dos *inputs* e *outputs***

Segundo Mello (2005), a escolha das variáveis de *input* e *output* deve ser feita a partir de uma ampla lista de possíveis variáveis ligadas ao modelo. As variáveis de *input* se referem às entradas do processo produtivo, aos insumos necessários para a produção, enquanto as variáveis de *output* são os resultados produzidos por uma DMU.

A seleção dos *inputs* e *outputs* foi sendo feita ao longo do projeto. Essa etapa exigiu bastante conhecimento e reflexão a fim de evitar a exclusão de variáveis importantes para o alcance dos objetivos de análise e evitar, também, a redundância de informações entre as variáveis escolhidas.

A introdução de um grande número de variáveis resulta em uma maior explicação das diferenças entre as DMUs; por outro lado, fará que um número maior de DMUs esteja na fronteira. O acréscimo de muitas variáveis reduz a capacidade da DEA de discriminar as DMUs eficientes das ineficientes. Dessa forma, o modelo deve ser mantido o mais compacto possível para maximizar o poder discriminatório da DEA.

Segundo Lins e Meza (2002), há duas maneiras para que a seleção de variáveis seja realizada de forma satisfatória. Uma delas recorre à opinião do interessado, seja ele usuário e/ou especialista, devendo levar em consideração as seguintes questões:

- a) se a variável inclui informações necessárias que não tenha sido incluída em outras variáveis;
- b) se a variável se relaciona ou contribui para um ou mais objetivos da aplicação;
- c) se os dados são confiáveis e seguros;
- d) se as variáveis explicam a eficiência de uma unidade.

A outra maneira utilizada para a seleção de variáveis, segundo Lins e Meza (2002), consiste em partir do uso da análise de correlação, inspirado no método *stepwise* (passo a passo), para a seleção em modelos estatísticos de regressão linear. De acordo com Norman e Stoker (1991), esse método se inicia num par inicial de *input* e *output*, calcula o *score* de eficiência das DMUs com base neste par, e os coeficientes de correlação de todas as demais variáveis com estes *scores*. Para selecionar a próxima variável a entrar no modelo, a lista de variável é percorrida em ordem decrescente do módulo do coeficiente de correlação. O método *stepwise* reconhece que existe uma informação prévia sobre se a variável candidata é um *input* ou *output*, e estabelece

critérios distintos para a seleção. O objetivo é incorporar a variável que permitirá um melhor ajuste das DMUs à fronteira. Utiliza-se, como critério básico para seleção das variáveis, o grau de ajustamento, ou de proximidade da fronteira, em vez do poder de discriminação.

Para decidir as variáveis definitivas do presente trabalho, serão utilizados tanto a forma que recorre à opinião do interessado quanto o método *stepwise*.

Estudiosos, como Golany e Roll (1989), abordam a relação de causalidade entre variáveis quando escrevem: “Um problema freqüentemente encontrado nesta fase é a distinção formal entre fatores que causam a eficiência e fatores que explicam o efeito eficiência.” A análise desta relação causal, com apoio de especialistas, ajuda a decidir se uma variável é causa ou se é efeito, no processo produtivo.

Com base nessa compreensão, apenas as variáveis consideradas determinantes sobre outra variável, ou seja, aquelas que provocam mudanças em outra variável devem ser escolhidas para a aplicação na DEA. Para efeito prático, são consideradas determinantes as que são responsáveis por outras e não as resultantes de outras.

Na direção de não incorporar subjetividade à seleção de variáveis, na literatura são encontrados diferentes procedimentos para sua seleção de variáveis, como: (a) a técnica estatística (LINS; MOREIRA, 1999) e (b) a técnica Multicritério (MELLO et al., 2002; SENRA, 2004), sendo possível dentro dessa, ter: (a) a técnica Multicritério Combinatória Inicial, (b) a técnica Multicritério Combinatória por Cenários, (c) a técnica Multicritério Total e (d) a técnica Multicritério Total Simplificada.

O objetivo das diversas técnicas de seleção de variáveis não é defender que a modelagem proposta inicialmente com  $n$  variáveis esteja equivocada e propor um novo rearranjo das variáveis originais, mas, sim, apresentar um resultado otimizado, que considerando todas estas, apresente uma boa relação causal e uma alta capacidade de discriminação entre as DMUs, ou seja, resultados com maiores possibilidades de análise e, ainda assim, representativos (PÉRICO, 2009).

As variáveis de *inputs* e *output* selecionadas para este trabalho são: gasto com consumo de combustível em R\$, nível de emissão em tCO<sub>2</sub> e eficiência térmica em %. A Figura 5.8 ilustra o esquema com as variáveis de *inputs* e *output* das DMUs estudadas.



Figura 5.8 – Representação das DMUs a serem estudadas

Para quantificar o nível de emissão de CO<sub>2</sub> a partir do volume de energético consumido, será utilizada a metodologia *top-down* do IPCC. Tal metodologia foi selecionada, devido à menor complexidade de obtenção dos dados e por sua confiabilidade. Para saber os procedimentos a serem seguidos para quantificação do nível de emissão de CO<sub>2</sub> pela metodologia *top-down* do IPCC, veja o apêndice D.

Após a escolha dos *inputs* e *outputs*, eles devem ser testados por meio de técnicas estatísticas básicas para verificar se a escolha foi adequada. Segundo Almeida (2007), os cálculos da média, do desvio-padrão, da regressão linear e dos coeficientes de correlação tornam-se essenciais para verificar se as variáveis escolhidas realmente explicam a realidade.

- **Identificação da orientação do modelo e retornos de escala**

Antes de partir para a aplicação do modelo, há a necessidade de compreender qual a tecnologia utilizada pela DMU. Entende-se por tecnologia de produção a maneira como a DMU transforma os seus insumos em produtos (PÉRICO, 2009).

Com o objetivo de definir os modelos que representam melhor a tecnologia de produção, verifica-se a necessidade de determinar a orientação do modelo a ser adotado e o tipo de retorno de escala.

Segundo Brunetta (2004), existem três opções de orientação para a análise por envoltória de dados. São elas:

- a) a orientação por *input*, na qual o objetivo é reduzir os *inputs* sem alterar os níveis dos atuais *outputs*;
- b) a orientação por *output*, cujo objetivo passa a ser o de aumentar os *outputs*, mantendo-se fixo o nível de *input*;
- c) a orientação *input-output*, que se refere à junção dos dois modelos anteriores, ou seja, aumentar os *outputs*, diminuindo ao mínimo os *inputs*.

A orientação do modelo para o presente trabalho será a orientação por *output*, pois a intenção é aumentar o seu nível mantendo o mesmo nível de *input*.

A outra opção seria a orientação *input-output*, mas a versão do software Frontier utilizada não disponibiliza esta opção.

A Figura 5.9 serve para ilustrar as orientações, para o *input* e para o *output*.

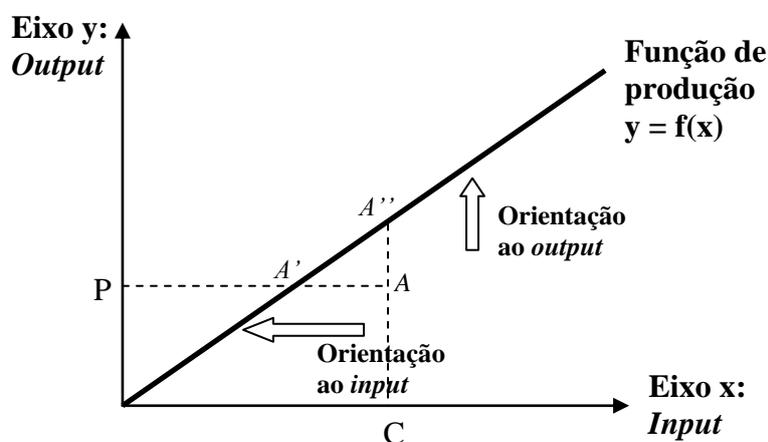


Figura 5.9 – Modelo de orientação ao *input* ou ao *output*  
Fonte: Coelli; Rao e Battese (1998).

A relação entre *inputs* e *outputs* é denominada retorno de escala. Brunetta (2004) salienta que existem quatro tipos de retorno de escala DEA:

a) retornos constantes de escala (CRS): os *inputs* variam na mesma proporção dos *outputs*, isto é, quando os *inputs* aumentam ou diminuem num fator  $\lambda$ , sendo  $\lambda$  um escalar positivo, a produção irá aumentar ou diminuir por este mesmo fator  $\lambda$ .

b) retornos não crescentes de escala (NIRS): ao multiplicar a quantidade de *inputs* por um fator  $\lambda > 1$ , os *outputs* vão ser multiplicados pelo fator  $\lambda' \leq \lambda$ ;

c) retornos não decrescentes de escala (NDRS): ao multiplicar os *inputs* por um fator  $\lambda > 1$ , os *outputs* vão ser multiplicados por um fator  $\lambda' \geq \lambda$ ;

d) retornos variáveis de escala (VRS): este tipo de retorno não segue nenhum padrão anterior. Se os *inputs* forem multiplicados por um fator  $\lambda$ , os *outputs* podem seguir comportamento variável em relação ao fator  $\lambda$ .

De acordo com Périco (2009), embora sejam apresentados quatro tipos de retorno de escala, somente dois são os mais considerados: retorno constante de escala e retorno variável de escala. Os retornos crescentes de escala e decrescentes são inseridos na classificação de retorno variável de escala.

Para o presente trabalho, foi selecionado o retorno variável de escala. A justificativa para essa escolha é que os crescimentos de *inputs* não ocorrem na mesma

proporção do crescimento de *outputs*, ou seja, as variações ocorridas não são diretamente proporcionais.

- **Identificação e aplicação do modelo**

Segundo Mariano (2008), modelo é uma simplificação da realidade sobre o qual uma técnica precisa se apoiar, para ser utilizada.

Uma técnica, por sua vez, possui duas definições: (a) um conjunto de processos que acompanham os conhecimentos científicos e são utilizados para investigar e transformar a realidade observada; ou (b) um procedimento ou conjunto de procedimentos empregados para obter um determinado resultado ou alcançar um determinado objetivo (HOUAISS, 2001; FERREIRA, 1975).

A principal diferença entre os modelos matemáticos do DEA é em relação ao formato da fronteira (que é consequência direta do tipo de retorno à escala adotado) e à orientação.

Vários são os modelos formulados pela técnica DEA. São eles: o CCR, o BCC, os Multiplicativos Variante e Invariante, os Aditivos Variante e Invariante e o FDH (MARIANO, 2008). De acordo com Santana (2008), o CCR e BCC são os dois modelos mais usados.

Cada modelo, dependendo do tipo de retorno à escala, do formato da fronteira e da orientação adotada, irá conduzir a eficiência a um valor diferente, que deve ser interpretado de acordo com o contexto de cada modelo.

De acordo com Mello *et al.* (2005), os modelos DEA têm algumas propriedades comuns, que fazem com que eles sejam caracterizados como pertencentes a uma mesma técnica. Essas propriedades são discutidas abaixo:

1. Em qualquer modelo DEA, cada DMU escolhe seu próprio conjunto de pesos (utilidades), de modo que o conjunto escolhido seja o melhor possível e maximize sua eficiência;

2. Em qualquer modelo DEA, a DMU que apresentar a melhor relação *output/input* será eficiente;

3. O DEA também não requer uma normalização prévia dos *inputs* e *outputs*, podendo conter dados de qualquer ordem de grandeza (a não ser que exista interesse especial nas utilidades dos *inputs* e *outputs*).

Os modelos mais largamente utilizados são:

1. Modelo CCR (1978) – desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), permite uma avaliação objetiva da eficiência global e identifica as fontes e estimativas de montantes das ineficiências identificadas.

2. Modelo BCC (1984) – criado por Banker, Charnes e Cooper (1984), distingue entre ineficiências técnica e de escala, estimando a eficiência técnica pura, a uma dada escala de operações, e identificando se estão presentes ganhos de escala crescentes, decrescentes ou constantes, para futura exploração.

Como os dois modelos (CCR e BCC) produzem diferentes fronteiras de eficiência, uma vez que eles utilizam diferentes tipos de tecnologia, Paiva (2000) reconhece que o primeiro supõe o retorno de escala constante, enquanto o segundo supõe o retorno de escala variável. Para o mesmo autor, as diferenças fundamentais entre os modelos estão relacionadas: 1. a superfície de envelopamento (tipos de combinações e suposições sobre os retornos de escala) e 2. o tipo de projeção do plano ineficiente à fronteira.

No que diz respeito à orientação, cada um desses dois modelos pode ser escrito sob duas formas de projetar os planos ineficientes na fronteira: uma voltada para os produtos e outra voltada para os insumos. Na primeira orientação, as projeções dos planos observados sobre a fronteira buscam o máximo aumento equiproporcional de produção dado o consumo observado e, na segunda, a maior redução equiproporcional do consumo para a produção observada (PAIVA, 2000).

A seguir, os dois modelos da análise por envoltória de dados – o CCR e o BCC – vão ser estudados tanto acerca da sua base teórica, quanto sobre a formulação matemática de cada um deles.

### **Modelo CCR**

Este modelo foi desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes, em 1978. O nome do modelo é a inicial do nome dos três autores. Esse modelo também pode ser denominado como modelo de Retornos Constantes à Escala (*Constant Returns to Scale* – CRS). Possuir retornos constantes à escala significa adotar a hipótese de que os *inputs* e os *outputs* são proporcionais entre si, o que faz o formato da fronteira de eficiência do modelo CCR ser uma reta com um ângulo de 45°.

O modelo CCR calcula a eficiência de uma DMU dividindo sua produtividade pela produtividade da DMU mais produtiva de um determinado conjunto, sem se preocupar com a escala. Esse modelo é considerado o mais simples, permitindo uma

avaliação objetiva da eficiência global e identificando as fontes e as estimativas dos montantes das ineficiências identificadas.

Resumidamente, Charnes *et al.* (1997) utilizaram a programação matemática e desenvolveram o modelo CCR para resolver a questão de casos com múltiplos *outputs/inputs*, criando um único *output* virtual e um *input* virtual.

Segundo Charnes *et al.* (1997), a formulação matemática original do modelo CCR tem orientação ao consumo e pode ser assim representada:

$$\text{Maximizar } h_k = \sum_{r=1}^s u_r y_{rk}, \quad (5.10)$$

sujeito a

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} \leq 0 \quad (5.11)$$

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{ik} = 1 \quad (5.12)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad (5.13)$$

Considerem-se N empresas produzindo m quantidade de produtos (*output*) y a partir de n quantidade de insumos (*inputs*) x. Uma empresa k produz  $y_{rk}$  quantidade de produtos com a utilização de  $x_{ik}$  quantidades de insumos. O objetivo DEA é encontrar o máximo indicador de eficiência  $h_k$  onde  $u_r$  é o peso específico a ser encontrado para um produto r e  $v_i$  o peso específico de cada insumo i.

Considere-se também:

y = produtos; x = insumos; u, v = pesos

r = 1, ..., m; i = 1, ..., n; j = 1, ..., N

O objetivo central do modelo CCR com orientação para o *input* é buscar a eficiência a partir de alterações (reduções) nos níveis de *input* (insumos), mantendo constante o nível de produto (*output*), considerando o retorno constante de escala.

A primeira restrição (5.11) pode ser definida como o resultado da empresa, pois é a subtração entre o somatório das quantidades produzidas multiplicadas pelos pesos dos produtos e o somatório da multiplicação dos insumos consumidos pelos pesos. Está limitado a 0. Assim, as empresas eficientes obterão o resultado 0 para a primeira restrição.

A segunda restrição (5.12) é o somatório da multiplicação das quantidades consumidas pelos pesos específicos para a empresa k, e deve ser igual a 1. Se a empresa k for eficiente,  $h_k$  será igual a 1. Se não for, obterá um indicador sempre inferior a 1.

Tendo um conjunto de empresas e seu plano de produção realizado, é possível construir uma curva de produção que se constitui o conjunto de produção revelado. Ao resolver o problema de programação linear (PPL) proposto para cada uma das empresas, é possível que sejam identificadas aquelas cujo plano de produção, dados os pesos determinados para suas quantidades de produtos e insumos, não pode ser superado pelo plano de produção de nenhuma outra empresa. Neste momento, tem-se um plano de produção eficiente, que melhor aloca a quantidade de *inputs* para produzir a maior quantidade de *outputs*. A empresa é dita eficiente e torna-se referência para as demais (PÉRICO, 2009).

O modelo CCR pode ter orientação para o *output*. O objetivo é a maximização do nível de produção utilizando-se, no máximo, o consumo de *inputs* observados com a seguinte formulação:

$$\text{Minimizar } h_k = \sum_{i=1}^n v_i x_{ik}, \quad (5.14)$$

sujeito a

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} \leq 0 \quad (5.15)$$

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rk} = 1 \quad (5.16)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad (5.17)$$

Considerem-se:

y = produtos; x = insumos; u,v = pesos

r = 1, ..., m; i = 1, ..., n; j = 1, ..., N.

As restrições seguem as mesmas do modelo CCR com orientação para o *input*. O objetivo do modelo CCR com orientação para o produto é buscar a eficiência mantendo os níveis de *inputs* (insumos) e expandindo os níveis de produto *output*, considerando-se o retorno constante de escala.

O indicador de eficiência do Modelo CCR indica uma medida de produtividade global, denominada de indicador de eficiência produtiva.

### **Modelo BCC**

O modelo BCC, que também recebeu o nome das iniciais de seus autores, foi desenvolvido em 1984 por Banker, Charnes e Cooper.

Esse modelo pressupõe tecnologias que exibem retornos variáveis à escala de produção. Ao possibilitar que a tecnologia exiba propriedades de retornos à escala diferentes ao longo de sua fronteira, esse modelo admite que a produtividade máxima

varie em função da escala de produção. Dessa maneira, o modelo BCC também pode ser intitulado como modelo de Retornos Variáveis à Escala (*Variant Returns to Scale* – VRS).

De acordo com Belloni (2000), o indicador da eficiência técnica resultante da aplicação do Modelo BCC permite identificar a ineficiência técnica, isolando da ineficiência produtiva o componente associado à ineficiência de escala. Livre das dificuldades advindas de considerar a escala de produção, o modelo possibilita a utilização de unidades de referência de portes distintos.

O modelo BCC propõe comparar apenas DMUs que operem em escala semelhante. Assim, por esse modelo, a eficiência de uma DMU é obtida dividindo-se sua produtividade pela maior produtividade dentre as DMUs que apresentem o mesmo tipo de retorno à escala que ela. A fronteira do modelo BCC é constituída de um conjunto de retas de ângulos variados, o que caracteriza uma fronteira linear por partes (MARIANO, 2008).

A formulação matemática do Modelo BCC, com orientação para o *input*, é:

$$\text{Maximizar } \sum_{r=1}^m u_r y_{rk} - u_k, \quad (5.18)$$

sujeito a

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{ik} = 1 \quad (5.19)$$

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} - u_k \leq 0 \quad (5.20)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad (5.21)$$

y = produtos; x = insumos; u, v = pesos

r = 1, ..., m; i = 1, ..., n; j = 1, ..., N.

A variável  $u_k$  é introduzida representando os retornos variáveis de escala. Segundo Casa Nova (2002), essa variável não deve atender à restrição de positividade; pode, portanto, assumir valores negativos.

A formulação matemática do modelo BCC, com orientação ao *output*, é:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^n v_i x_{ki} + v_k, \quad (5.22)$$

sujeito a

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rk} = 1 \quad (5.23)$$

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{jr} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ji} - v_k \leq 0 \quad (5.24)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad (5.25)$$

$y = \text{produtos}; x = \text{insumos}; u, v = \text{pesos}$

$r = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, N.$

Novamente, o termo  $v_k$  representa a possibilidade de retornos de escala variáveis, podendo assumir valores positivos ou negativos (CASA NOVA, 2002).

Como já ressaltado, a possibilidade de retornos de escala variáveis do modelo BCC admite que a produtividade máxima varie em função da escala de produção. O modelo permite, portanto, a utilização de unidades de portes distintos (BELLONI, 2000).

O indicador de eficiência do modelo BCC é menor ou igual ao indicador de eficiência do modelo CCR (BELLONI, 2000).

### **Comparação entre o modelo BCC e o modelo CCR**

O modelo CCR calcula a eficiência de uma DMU dividindo-se sua produtividade pela da DMU mais produtiva de um determinado conjunto, sem se preocupar com a escala. O formato da fronteira de eficiência desse modelo é uma reta com um ângulo de 45°.

Já no modelo BCC, a eficiência de uma DMU é obtida dividindo-se sua produtividade pela maior produtividade dentre as DMUs que apresentem o mesmo tipo de retorno a escala que ela. O formato da fronteira desse modelo é constituída de um conjunto de retas de ângulos variados, o que caracteriza uma fronteira linear por partes.

A Figura 5.10 apresenta uma comparação entre as fronteiras do BCC e do CCR.

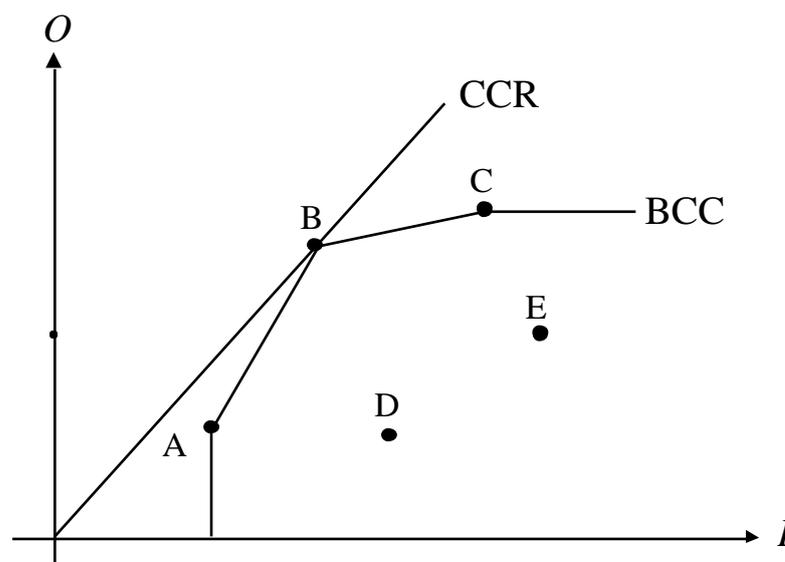


Figura 5.10- Comparação entre as fronteiras dos modelos BCC e CCR  
Fonte: Mello *et al.* (2004)

Devido à diferença entre o tipo de retorno à escala e entre o formato da fronteira dos modelos CCR e BCC, esses dois modelos automaticamente calcularão tipos diferentes de eficiência. Os dois tipos de eficiência calculados estão ilustrados na Figura 5.11.

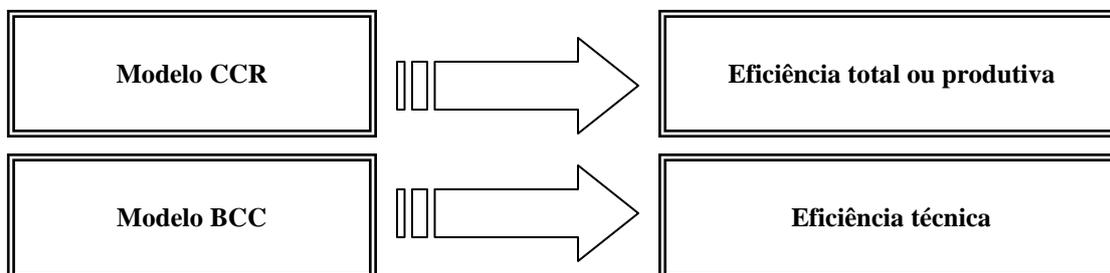


Figura 5.11 - Correspondência entre modelos matemáticos DEA e o tipo da eficiência calculada  
Fonte: Mariano, Almeida e Rebelatto (2006b).

Após o cálculo da eficiência técnica e da eficiência total, por meio dos modelos BCC e CCR, pode-se calcular a eficiência de escala por meio da Expressão 5.27.

Eficiência de escala = Eficiência do modelo CCR/Eficiência do modelo BCC (5.27)

Segundo Mariano (2008), vale lembrar que é de extrema importância para a pessoa que irá utilizar as técnicas de análise de eficiência saber o quanto da eficiência calculada se deve a fatores técnicos e quanto se deve a problemas de escala, pois, com isso, essa pessoa possuirá informações bem mais completas, que certamente a auxiliarão a tomar decisões na direção correta para melhorar sua eficiência.

Será utilizada a modelagem BCC, pois não existe a proporcionalidade direta entre *inputs* e *outputs*, dado que a possibilidade de rendimentos decrescentes de escala na fronteira eficiente era válida para o caso em estudo.

O rendimento decrescente de escala acontece quando um grande aumento nos *inputs* das DMUs gera um pequeno aumento em seus *outputs*. Desta forma, a geometria da envoltória é linear por partes para o BCC.

- **Escolha da ferramenta computacional**

Para o uso da Análise por Envoltória de Dados (DEA), existem ferramentas em que a técnica já está implementada; esses *softwares* são grandes caixas pretas onde se digitam os dados de *inputs* e *outputs*, e instantaneamente saem os resultados da eficiência. Os *softwares* desse tipo são: o *Frontier analyst*, o SIAD, o SIEN, o *Onfront* e o DEAP.

O *software* a ser utilizado no presente trabalho será o *Frontier analyst*.

- **Análise dos resultados**

Após a implementação da técnica e obtenção dos resultados, deve-se realizar uma análise criteriosa dos resultados obtidos à luz de todas as escolhas realizadas nas etapas anteriores.

Após a apresentação das etapas de aplicação da DEA, é importante listar as suas vantagens e limitações. O tópico a seguir irá tratar desse assunto.

#### **5.4 Vantagens e limitações da DEA**

A análise por envoltória de dados é uma ferramenta de medida de eficiência relativa das unidades, onde a comparação é feita com o melhor nível de eficiência observado, em vez de comparação com um ideal inatingível. Essa pode ser considerada a principal vantagem obtida com a utilização da DEA no presente trabalho, pois é impossível encontrar no mercado uma caldeira com 100% de eficiência.

Além disso, outra vantagem na utilização da DEA diz respeito à possibilidade de utilizar variáveis mensuradas em quantidades e em unidades monetárias ao mesmo tempo. Com isso, será possível trabalhar com variáveis de custos e nível de emissão simultaneamente.

Outras vantagens que fazem a DEA se tornar útil para calcular a eficiência técnica de equipamentos são:

- a) utilização de múltiplos *inputs* e *outputs*;
- b) desnecessidade de estabelecer a forma funcional;
- c) geração de um único *score* de eficiência relativa às outras unidades produtivas;
- d) definição dos recursos e cálculo do nível de ineficiência das unidades ineficientes;
- e) detecção de deficiências não obtidas por outras técnicas.

Para finalizar, a seguir são destacadas mais vantagens obtidas com a utilização da DEA no presente trabalho:

- a) a eficiência de cada equipamento é definida de forma individualizada, considerando-se a atuação dos demais equipamentos em estudo;

- b) a diferença de capacidade de produção de vapor pode ser tratada com a adoção de modelos que prevêem retornos variáveis à escala, sem prejuízo aos equipamentos de capacidade menor/modelos diferentes;
- c) mais de um equipamento pode ser classificado como eficiente, compondo a fronteira de eficiência relativa e servindo como referência para a atuação dos demais equipamentos;
- d) fornece uma visão multifacetada da eficiência, permitindo a análise de fatores que mais contribuem para seu alcance.

Apesar das inúmeras vantagens apresentadas para a técnica DEA, podem-se verificar algumas limitações relacionadas com a sua utilização. Por exemplo:

- a) o fato de ser uma técnica de ponto extremo, erros de medição tendem a comprometer a análise; conforme cresce o número de variáveis, por exemplo, cresce também a chance de mais unidades alcançarem eficiência;

- b) por ser uma técnica não-paramétrica, torna-se difícil a formulação de hipóteses estatísticas;

- c) a DEA estima bem o desempenho “relativo”, mas converge muito lentamente para o desempenho “absoluto”.

Além das desvantagens apontadas, é necessário salientar que qualquer acréscimo ou exclusão de DMU modifica completamente o resultado da análise. Além disso, o nível de eficiência obtido está condicionado aos indicadores selecionados.

Para acrescentar, por se tratar de uma técnica não paramétrica, não permite a extrapolação de suas conclusões, as quais estão restritas aos equipamentos e às variáveis consideradas.

Todas as vantagens e desvantagens apontadas com relação à técnica DEA fazem com que o pesquisador visualize em que situações as suas aplicações são consideradas adequadas, quais resultados poderão ser obtidos e até que ponto esses resultados poderão ser aproveitados.



## **Capítulo 6 - Apresentação e discussão dos resultados**

---

Os diversos resultados obtidos com o uso da TIC, AC e DEA são apresentados e discutidos no presente capítulo.

Seguindo a mesma ordem de apresentação do capítulo 5, primeiramente, são apresentados os resultados relacionados com o uso da TIC e da AC. Posteriormente, serão apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação da DEA nas caldeiras e, por fim, os resultados obtidos com a aplicação dessa mesma técnica em aquecedores.

### **6.1 Resultados da TIC**

Como mencionado, a aplicação da Técnica do Incidente Crítico teve o objetivo de definir os atributos relevantes para a adoção do gás natural como energético nos processos produtivos das empresas participantes.

Para atingir esse objetivo, o presente trabalho visou identificar, na coleta de dados para aplicação da TIC, os incidentes que facilitam ou dificultam a adoção desse energético. Esses incidentes foram informados pelos funcionários das empresas pesquisadas. Um total de 14 empresas participou da coleta de dados da TIC, sendo 8 do Estado de São Paulo e 6 do Estado do Amazonas.

Os incidentes serviram de dados de entrada na definição dos atributos ou fatores determinantes envolvidos na escolha do GN como energético das empresas. Esses, por sua vez, foram objetos de experimento da etapa quantitativa da pesquisa, a Análise Conjunta.

### 6.1.1 Obtenção e coleta de dados

Com a realização das entrevistas para coleta dos incidentes, foi possível extrair 134 incidentes críticos (IC), caracterizados por frases representativas dos fatores que facilitam ou dificultam a adoção do GN como energético. Os IC obtidos podem ser visualizados no Apêndice A. A Tabela 6.1 apresenta alguns exemplos desses incidentes críticos.

**Tabela 6.1 – Exemplos de incidentes críticos obtidos**

Incidentes críticos	
1	Baixa emissão de poluentes
2	Facilidade de implantação de processos industriais que adotariam o gás natural
3	Poder calorífico elevado
4	Abastecimento contínuo
5	Desnecessidade de estoque
6	Necessidade de treinamento dos funcionários envolvidos

A partir dos IC observados, foi feita a classificação desses incidentes em itens de satisfação. Para isso, foram observados incidentes semelhantes que deveriam ser agrupados. Concentrou-se nos verbos e adjetivos específicos que são comuns entre determinados incidentes. Depois de formados os grupos, foram elaboradas palavras ou pequenas frases que refletiam o conteúdo dos incidentes críticos. Estas palavras são chamadas itens de satisfação.

Esses itens de satisfação serviram para delimitar uma necessidade do cliente específica. Dessa forma, a partir dos dados obtidos, foram identificadas as necessidades dos clientes ou os atributos de valor.

No presente trabalho, a classificação dos incidentes críticos em itens de satisfação, bem como o processo de identificação dos atributos de valor, foi realizada por duas pesquisadoras. Com o julgamento de pesquisadoras distintas, foi possível garantir determinado nível de qualidade dos resultados. Os incidentes críticos agrupados por cada pesquisadora e os respectivos atributos de valor são apresentados nas Tabelas A.2 e A.3 do Apêndice A.

Posteriormente, os resultados encontrados por cada uma delas foram comparados quantitativamente. Tal procedimento contribuiu para diminuir possíveis erros que poderiam vir a ocorrer.

Como forma de avaliar a semelhança entre os incidentes agrupados, foi calculado o índice de concordância. Esse índice é a porcentagem de incidentes que ambos os juízes (pesquisadores) alocam na mesma categoria de atributo de valor. A concordância entre eles é calculada dividindo-se o número de incidentes iguais que ambos os juízes colocam na mesma categoria de atributo pelo número total de incidentes (redundantes e distintos) alocados na categoria.

O índice pode variar de 0 a 1. À medida que o índice se aproxima de 1, significa que os juízes têm um alto grau de concordância. Quando o índice se aproxima de 0, indica uma baixa concordância. Um valor maior ou igual a 0,8 serve como parâmetro para determinar se o índice de concordância foi aceitável.

O cálculo do índice de concordância foi feito para cada atributo de valor. Para isso, compararam-se as Tabelas A.2 e A.3 para saber o número de incidentes redundantes e distintos de cada categoria de atributo apontada pelas pesquisadoras 1 e 2.

A Tabela 6.2 apresenta o resultado desse índice de concordância para cada atributo.

**Tabela 6.2 –Índice de concordância dos atributos comparados**

<b>Atributos comparados</b>	<b>Índice de concordância</b>
Impacto ambiental (pesquisadora 1) e Meio Ambiente (pesquisadora 2)	1,00
Flexibilidade (pesquisadora 1) e Adaptação (pesquisadora 2)	0,80
Disponibilidade (pesquisadoras 1 e 2)	0,97
Estoque/Armazenamento (pesquisadora 1) e Estoque e Armazenamento (pesquisadora 2)	0,80
Características técnicas e Segurança (pesq. 1) e Eficiência energética e poder calorífico, Característica tecnológica e Segurança (pesquisadora 2)	0,94
Necessidade de treinamento (pesq. 1) e Capacitação (pesquisadora 2)	1,00

É possível visualizar que todos os índices de concordâncias estão acima de 0,80; conclui-se, portanto, que os pesquisadores possuem alto grau de concordância no processo de agrupamento dos incidentes críticos semelhantes.

Após a comparação quantitativa das semelhanças e diferenças da lista de atributos de valor gerada por cada pesquisadora, uma análise crítica foi realizada por elas a fim de compará-los qualitativamente e definir os atributos para o modelo. Essa análise crítica permitiu diminuir possíveis erros que poderiam vir a ocorrer na definição dos atributos e níveis.

Para realizar a análise crítica, foi necessário colocar lado a lado os atributos de valor definidos por cada pesquisadora. Isso está apresentado por meio da Tabela 6.3.

**Tabela 6.3 – Atributos de valor definidos pelas pesquisadoras 1 e 2**

<b>Atributos de valor definidos pela pesquisadora 1</b>	<b>Atributos de valor definidos pela pesquisadora 2</b>
Gastos e investimento	Custo e preço
Impacto ambiental	Meio Ambiente
Flexibilidade	Eficiência energética e poder calorífico
Características técnicas	Disponibilidade
Disponibilidade	Estoque e armazenamento
Estoque/Armazenamento	Segurança
Segurança	Adaptação
Necessidade de treinamento	Capacitação
	Características tecnológicas

Após a comparação qualitativa dos atributos de valor das duas pesquisadoras, foi elaborada a lista dos atributos definitivos para o modelo. Esses atributos estão citados abaixo:

- Impacto ao meio ambiente: corresponde ao atributo “Impacto Ambiental” da pesquisadora 1 e “Meio Ambiente” da pesquisadora 2;
- Flexibilidade: corresponde ao atributo “flexibilidade” da pesquisadora 1 e “adaptação” da pesquisadora 2;
- Disponibilidade;
- Estoque: corresponde ao atributo “Estoque/Armazenamento” da pesquisadora 1 e “Estoque e armazenamento” da pesquisadora 2;
- Condições operacionais: corresponde ao atributo “Características técnicas” e “Segurança” da pesquisadora 1, e “Eficiência energética e poder calorífico”, “Características tecnológicas” e “Segurança” da pesquisadora 2;
- Treinamento: corresponde ao atributo “Necessidade de treinamento” da pesquisadora 1 e “Capacitação” da pesquisadora 2.

O atributo gastos e investimento da pesquisadora 1 e custo e preço da pesquisadora 2 foram desconsiderados. Isso se deve ao fato de que, em muitos casos, se não for na maioria, os atributos dessa natureza têm um grau elevado de correlação interatributos com outros atributos. Por exemplo, para muitos atributos, um aumento na qualidade de um determinado atributo está associado com um aumento de custo/preço. Sabe-se, também, que o atributo custo/preço é um fator que, sem dúvida, tem forte influência sobre a decisão de investir ou não no gás natural. Como o método de análise conjunta executado pelo *software* SPSS não leva em consideração essa correlação interatributos, não será possível introduzir o atributo custo/preço no modelo. Vale

destacar que esse atributo foi introduzido como variável na DEA, portanto a análise do atributo não foi desconsiderada nesta pesquisa de doutorado.

Para finalizar os atributos definidos pela TIC, é importante mencionar que todos os incidentes críticos pertencentes ao atributo segurança estavam relacionados com vazamentos ou explosões. Sabe-se que o gás natural é menos denso que o ar (característica físico-química) e, por isso, ele se dissipa facilmente em caso de vazamento. Se o vazamento ocorrer em local aberto, será possível reduzir os riscos de explosão. Apesar disso, ele pode causar riscos de explosões em espaços confinados por estar mais sujeito à ignição espontânea. Diante desse risco, muitos empresários não querem utilizar esse combustível em certos equipamentos. Como a densidade é uma característica físico-química do gás, decidiu-se agrupar o atributo “segurança” com o atributo “característica técnica/tecnológica” e chamar o novo atributo (superatributo) de “condições operacionais”. Diante disso, o novo atributo envolve incidentes que retratam poder calorífico, características de combustão (extensão da chama, estabilidade, distribuição da temperatura, entre outros), características físico-químicas, componentes do gás e eficiência térmica.

## **6.2 Resultados da AC**

O capítulo 5 apresentou a fundamentação teórica e a delimitação dos estágios da pesquisa da análise conjunta. Esta seção apresenta os resultados do experimento e da aplicação da AC nas indústrias amazonense e paulista, considerando-se como suporte os atributos de valor identificados com a Técnica do Incidente Crítico. Lembrando que a AC determina a importância relativa dos atributos considerados representativos pelas empresas no processo de escolha do gás natural como energético e, também, a utilidade dos níveis desses atributos.

Lembrando que o delineamento deste experimento foi feito segundo o modelo apresentado por Hair *et al* (2005), constituído de sete estágios.

Antes de apresentar os sete estágios, cabe aqui mostrar como foi definida a amostra da pesquisa da AC.

Fazendo uma consulta prévia com a CIESP e alguns sindicatos, teve-se a informação que o tamanho da população, ou seja, o total de empresas com as características de interesse é de aproximadamente 1.300.

Fazendo a mesma consulta no cadastro da FIEAM, obteve-se a informação que o total de empresas pertencentes aos setores selecionados e com o porte desejado para estudo é de 30. Dessas 30 empresas, 20 participaram da pesquisa, ou seja, 66,67% do total da população. Esse percentual pode ser considerado como representativo para a população.

O número de empresas no Estado de São Paulo é significativamente maior que o número de empresas no Estado do Amazonas, por esse motivo decidiu-se considerar somente as empresas com um maior nível de emissão de CO<sub>2</sub> no Estado de SP. Como foi publicado um relatório do inventário estadual de fontes fixas que identifica as 100 maiores poluidoras do Estado de SP, foi possível selecionar no relatório as principais empresas poluidoras de SP consideradas, também, potenciais consumidoras do gás. Isso viabilizou a pesquisa de campo uma vez que reduziu o número de empresas. Do total de 57 empresas com as características de interesse para a pesquisa no Estado de SP, 20 colaboraram com a pesquisa. Esse número foi muito difícil de ser alcançado devido à distância entre os municípios onde se localizavam as empresas e a dificuldade de marcar visita com os funcionários para responder a pesquisa. Vale destacar que a pesquisadora contatou as 37 que não participaram da pesquisa para tentar agendar uma data para a realização da pesquisa.

Esse número de 20 empresas permitiu fazer uma melhor comparação, pois foi considerado o mesmo tamanho da amostra nos dois Estados estudados.

### **6.2.1 Estágio 1: Objetivos da análise conjunta**

Como informado, o objetivo da AC para o caso estudado é determinar a importância relativa dada aos atributos relevantes na escolha do GN como energético e a utilidade associada aos níveis desses atributos. De forma mais detalhada, o objetivo deste experimento conjunto é estabelecer a estrutura da utilidade total e os fatores determinantes no experimento para definir o modelo de preferência das 20 empresas do Estado de São Paulo e das 20 do Estado do Amazonas que colaboraram com esta pesquisa. Para isso, deve-se determinar a função utilidade (Expressão 5.1) que melhor represente o modelo de preferência das empresas.

As 20 empresas do Estado de SP estão inseridas no grupo das 100 mais poluidoras do relatório do inventário de emissões de CO<sub>2</sub> da CETESB do ano de 2006. Vale destacar que, foram selecionadas as empresas de grande porte consideradas potenciais consumidoras do GN que estavam inseridas nesse relatório. Para obter

maiores informações das empresas encontradas no relatório da CETESB, foram consultados o cadastro da CIESP e os sites das empresas.

Para obter a lista das 20 empresas do AM, foram selecionadas empresas de grande porte consideradas potenciais consumidoras do gás no cadastro industrial da FIEAM.

Os fatores determinantes de satisfação foram identificados a partir dos dados levantados no experimento qualitativo da Técnica do Incidente Crítico. A seguir, são apresentados os fatores (atributos) e os seus respectivos conceitos:

- Impacto ao meio ambiente: Danos ambientais ocasionados pela emissão de poluentes oriundos do energético e danos causados pela produção e/ou transporte do energético;
- Flexibilidade: Facilidade de adaptação da máquina ao energético e/ou do energético aos processos produtivos;
- Disponibilidade: Acesso ao energético por meio de infra-estrutura que garante fornecimento;
- Estoque: Necessidade de armazenamento nas instalações fabris;
- Condições operacionais: Desempenho ou estado do energético/equipamento na aplicação industrial;
- Treinamento: Necessidade de capacitação para operacionalização do equipamento.

### **6.2.2 Estágio 2: Projeto de uma análise conjunta**

Os atributos mencionados na seção 6.2.1 foram obtidos a partir da consolidação dos atributos identificados na etapa da análise da Técnica do Incidente Crítico. Vale ressaltar que, inicialmente, existiam nove atributos e, em seguida, esse número foi sintetizado para seis, representativos da tomada de decisão das empresas no processo de adoção do gás natural como fonte energética.

Os níveis dos atributos foram definidos no Quadro 6.1. Esses níveis também foram obtidos com base nas respostas obtidas com a Técnica do Incidente Crítico.

Atributos	Níveis
<b>Impacto ao meio ambiente</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Baixo impacto ao meio ambiente (emissão de poluentes, impacto ambiental na produção e transporte)</li> <li>2 Alto impacto ao meio ambiente</li> </ol>
<b>Flexibilidade</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)</li> <li>2 Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e/ou do combustível aos processos da fábrica)</li> </ol>
<b>Disponibilidade</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Fornecimento garantido</li> <li>2 Fornecimento com riscos de corte</li> <li>3 Requer fornecimento por caminhões ou navios metaneiros</li> </ol>
<b>Estoque</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Dispensa estocagem</li> <li>2 Necessita de estocagem</li> </ol>
<b>Condições operacionais</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Desempenho do equipamento/energético favorável para a aplicação industrial (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica).</li> <li>2 Desempenho do equipamento/energético desfavorável</li> </ol>
<b>Treinamento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Dispensa treinamento para operar com o gás natural</li> <li>2 Necessita de treinamento para operar com o gás natural</li> </ol>

Quadro 6.1 – Atributos e seus respectivos níveis

Para a seleção da regra de composição, optou-se pelo modelo aditivo simples (sem efeitos de interações).

Os estímulos gerados por meio de um planejamento fracionário especial, chamado método ortogonal ou quadros ortogonais, foram obtidos a partir do *software* SPSS *Conjoint* 13.0. Esses estímulos estão apresentados no Apêndice B.

O método de apresentação de estímulos adotado foi o do perfil completo. Esse método consiste em reunir todos os atributos que descrevem o produto em um cartão. É importante destacar que cada cartão representa um estímulo e que cada atributo acompanha um determinado nível. Como existem mais de um cartão para ser avaliado, cada um vai combinar diferentes níveis para os diversos atributos.

Esse método permitiu estimar todos os efeitos principais de interesse em uma base não correlacionada. Desta forma, foi gerado um total de dezoito estímulos (cartões) que serão utilizados na coleta de dados.

Para melhorar o entendimento dos entrevistados sobre os diferentes cenários apresentados e reforçar a visualização espacial durante o processo de escolha, cada estímulo (cartão) foi apresentado como na Figura 6.1.

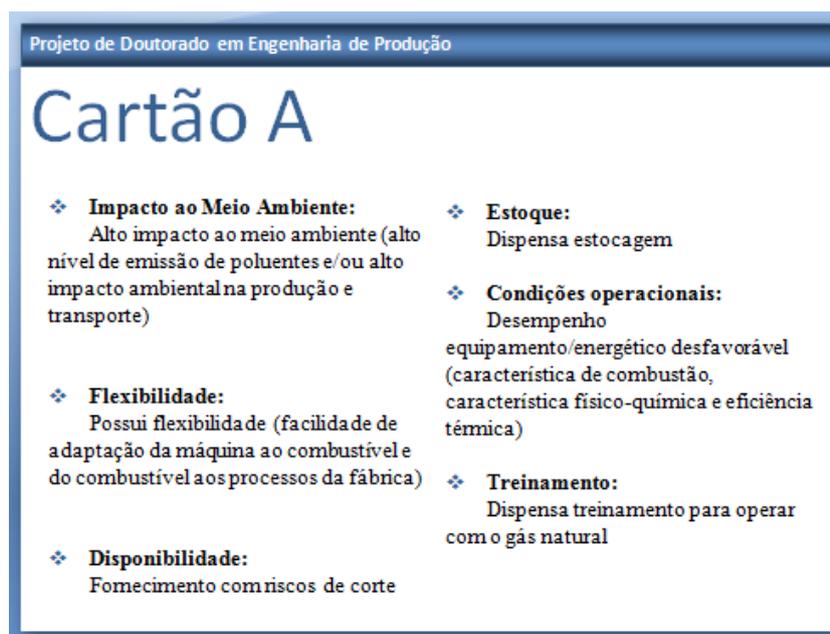


Figura 6.1 – Exemplo de formato de apresentação de cartões

A resposta da entrevista é a preferência do consumidor aos estímulos (cartões) apresentados. A ordenação dos cartões foi utilizada como forma de representar as preferências, ou seja, durante as entrevistas pessoais, o respondente deverá ordenar os cartões (estímulos) de acordo com a preferência. Com a ordenação, são obtidas medidas de preferência e, com isso, é possível calcular a importância relativa de cada atributo e a utilidade de cada nível.

Diante disso, foi selecionado, em cada empresa participante, um funcionário com o conhecimento dos combustíveis e equipamentos usados nos processos produtivos. O funcionário ordenava os cartões de acordo com a sua preferência. Os resultados das ordenações dos cartões estão apresentadas no Apêndice B.

### 6.2.3 – Estágio 3: Suposições da análise conjunta

A amostra do experimento foi constituída dos funcionários das 40 empresas que colaboraram com a pesquisa, ou seja, 20 empresas do Amazonas e 20 de São Paulo. Os funcionários ocupavam o cargo de gerente de produção, supervisor da produção, gerente de manutenção, supervisor da manutenção, gerente do meio ambiente ou qualquer funcionário com conhecimento do processo produtivo e da tecnologia utilizada na produção. Dessa forma, teriam conhecimentos técnicos para citar e reconhecer fatores relevantes para o processo de adoção do gás natural como fonte de energia.

Atendidos os pressupostos da análise conjunta, a etapa seguinte diz respeito à estimação do modelo, ou seja, definição do modelo de ajuste para cada atributo.

#### 6.2.4 – Estágio 4: Estimação do modelo conjunto

Para a estimação do modelo da análise conjunta, é necessária a definição da relação entre os níveis dos fatores selecionados.

Durante as entrevistas, observou-se que todos os níveis dos fatores apresentam uma relação linear decrescente, ou seja, os dados dos níveis apresentam um comportamento linear, sendo o nível 1 mais preterível do que o nível 2.

Uma vez definido o delineamento do experimento completo, com atributos e níveis, função de utilidade definida, estímulos gerados, dados coletados e organizados em planilhas, pressupostos e modelo de estimação definidos, o aplicativo de análise estatística SPSS 13.0 foi executado e obtiveram-se os resultados apresentados a seguir.

#### 6.2.5 - Estágio 5: Interpretação dos resultados

Este estágio apresenta os resultados do experimento de análise conjunta que tem como objetivo identificar os fatores de maior relevância no processo de escolha do gás natural como fonte de energia nas indústrias.

Os dados sobre a preferência dos usuários no processo de escolha do GN foram analisados por meio do programa computacional SPSS 13.0, que possui um módulo desenvolvido para ajustes de modelos de análise conjunta. A Tabela 6.4 apresenta os dados de saída do aplicativo utilizado após a execução do experimento para as empresas do Estado de São Paulo.

Tabela 6.4 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo das empresas de SP

<b>Resumo dos resultados do experimento – adaptação do arquivo de saída do SPSS</b>				
<b>Atributo</b>	<b>Nível do atributo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Utilidade</b>	<b>Importância medida</b>
Impacto ao meio ambiente	1	Baixo impacto ao meio ambiente (baixo nível de emissão de poluentes e/ou baixo impacto ambiental na produção e transporte)	-4,9625	32,50%
	2	Alto impacto ao meio ambiente (alto nível de emissão de poluentes e/ou alto impacto ambiental na produção e transporte)	-9,9250	
Flexibilidade	1	Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)	-1,7125	12,49%
	2	Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e/ou do combustível aos processos da fábrica)	-3,4250	
Disponibilidade	1	Fornecimento garantido	-2,1727	27,79%
	2	Fornecimento com riscos de corte	-4,3455	
	3	Não possui fornecimento por gasoduto	-6,5182	
Estoque	1	Dispensa estocagem	-0,8625	6,73%
	2	Necessita de estocagem	-1,7250	
Condições operacionais	1	Desempenho do equipamento/energético favorável para aplicação industrial (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)	-2,3500	16,33%
	2	Desempenho do equipamento/energético desfavorável	-4,7000	

(Continua)

(Continuação)

Treinamento	1	Dispensa treinamento para operar com o gás natural	-0,3125	4,16%
	2	Necessita de treinamento para operar com o gás natural	-0,6250	

O Gráfico 6.1 apresenta, por meio de um gráfico, a última coluna da Tabela 6.4, na qual apresenta a importância relativa de cada atributo para os dados agregados das empresas de SP.

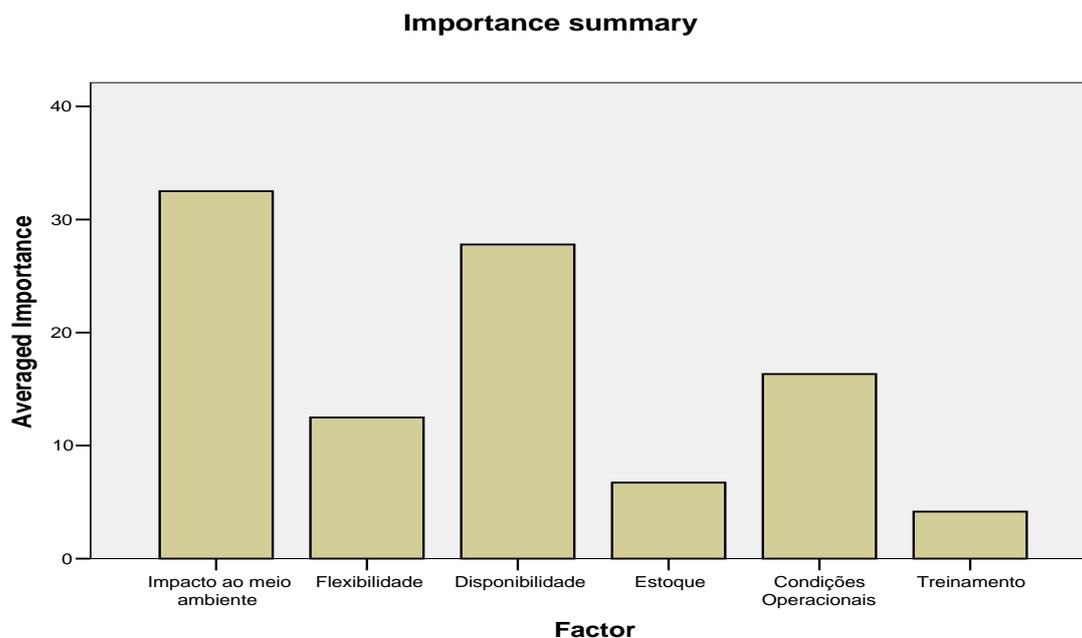


Gráfico 6.1 – Importância relativa de cada fator (atributo) para as empresas de SP

Os resultados mostram que o atributo “impacto ao meio ambiente” é considerado como sendo o de maior importância, quando comparado com os demais atributos do experimento. Este atributo possui uma importância relativa: 32,50%.

Na ordem de preferência, seguem os atributos disponibilidade com 27,79% de importância relativa, em seguida, condições operacionais com 16,33%, flexibilidade com 12,49%, estoque com 6,73% e, por último, treinamento com 4,16% de importância relativa.

A seguir, serão apresentados os mesmos resultados para as empresas do Estado do AM.

A Tabela 6.5 apresenta os dados de saída do SPSS 13.0 após a execução do experimento para as empresas do Estado do Amazonas.

Tabela 6.5 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo das empresas do AM

<b>Resumo dos resultados do experimento – adaptação do arquivo de saída do SPSS</b>				
<b>Atributo</b>	<b>Nível do atributo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Utilidade</b>	<b>Importância medida</b>
Impacto ao meio ambiente	1	Baixo impacto ao meio ambiente (baixo nível de emissão de poluentes e/ou baixo impacto ambiental na produção e transporte)	-4,8625	32,03%
	2	Alto impacto ao meio ambiente (alto nível de emissão de poluentes e/ou alto impacto ambiental na produção e transporte)	-9,7250	
Flexibilidade	1	Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)	-1,9750	14,17%
	2	Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e/ou do combustível aos processos da fábrica)	-3,9500	
Disponibilidade	1	Fornecimento garantido	-1,9636	28,16%
	2	Fornecimento com riscos de corte	-3,9273	
Estoque	3	Não possui fornecimento por gasoduto	-5,8909	7,93%
	1	Dispensa estocagem	-0,8000	
Condições operacionais	2	Necessita de estocagem	-1,6000	12,15%
	1	Desempenho do equipamento/energético favorável para aplicação industrial (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)	-1,7125	
Treinamento	2	Desempenho do equipamento/energético desfavorável	-3,425	5,57%
	1	Dispensa treinamento para operar com o gás natural	0,0000	
	2	Necessita de treinamento para operar com o gás natural	0,0000	

A Gráfico 6.2 apresenta, em formato de gráfico, a última coluna (importância relativa de cada atributo) da Tabela 6.5.

#### Importance summary

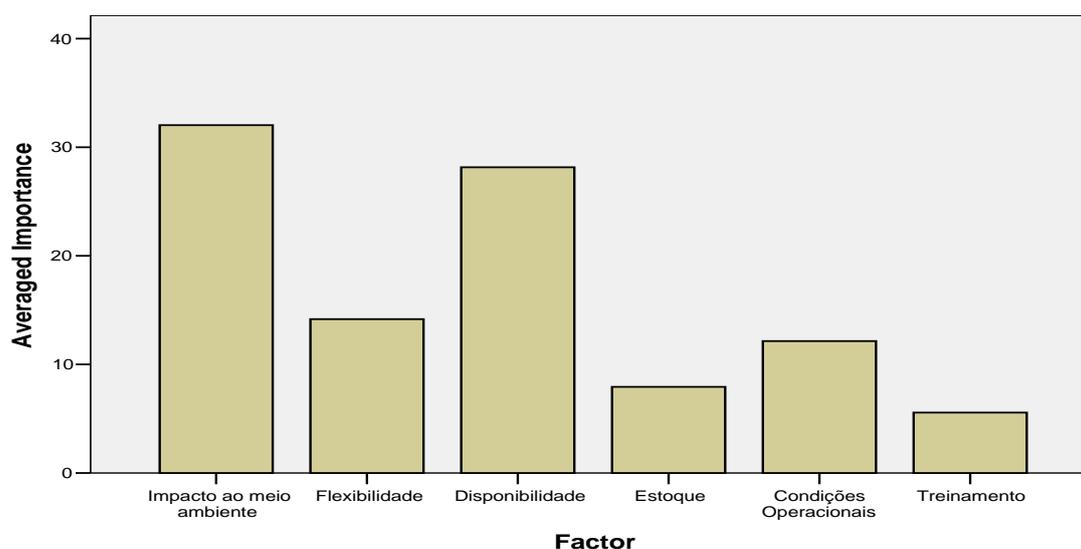


Gráfico 6.2 – Importância relativa de cada fator (atributo) para as empresas do AM

Tanto a Tabela 6.5 como a Gráfico 6.2 apresentam os valores de importância relativa de cada fator para os resultados agregados do Estado do AM. Os resultados mostram que o atributo “impacto ao meio ambiente” novamente é considerado como sendo o de maior importância, quando comparado com os demais atributos do experimento. Este atributo possui uma importância relativa: 32,03%. Na ordem de preferência, seguem os atributos disponibilidade com 28,16% de importância relativa, em seguida, flexibilidade com 14,17%, condições operacionais com 12,15%, estoque com 7,93% e, por último, treinamento com 5,57%.

Os mesmos tipos de tabelas que foram apresentados até o momento para ilustrar o resumo dos resultados de cada Estado serão apresentados para cada setor industrial.

Para calcular a importância relativa dos atributos de cada setor industrial dos Estados estudados, tomaram-se os resultados das preferências dos respondentes da pesquisa e separaram-se por setor. Logo em seguida, foi rodado o *software* SPSS 13.0 com essas preferências separadas por setor. As tabelas a seguir apresentam os valores da importância de cada fator para cada setor industrial analisado.

As Tabelas 6.6 e 6.7 apresentam resumos dos resultados do setor de alimentos e bebidas de SP e AM, respectivamente.

Tabela 6.6 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo do setor alimentos e bebidas de SP

<b>Resumo dos resultados do experimento – adaptação do arquivo de saída do SPSS</b>				
<b>Atributo</b>	<b>Nível do atributo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Utilidade</b>	<b>Importância medida</b>
Impacto ao meio ambiente	1	Baixo impacto ao meio ambiente (baixo nível de emissão de poluentes e/ou baixo impacto ambiental na produção e transporte)	-6,0000	38,79%
	2	Alto impacto ao meio ambiente (alto nível de emissão de poluentes e/ou alto impacto ambiental na produção e transporte)	-12,0000	
Flexibilidade	1	Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)	-0,8750	5,75%
	2	Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e/ou do combustível aos processos da fábrica)	-1,7500	
Disponibilidade	1	Fornecimento garantido	-2,5455	33,01%
	2	Fornecimento com riscos de corte	-5,0909	
	3	Não possui fornecimento por gasoduto	-7,6364	
Estoque	1	Dispensa estocagem	-1,0625	8,56%
	2	Necessita de estocagem	-2,1250	
Condições operacionais	1	Desempenho do equipamento/energético favorável para aplicação industrial (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)	-1,8125	11,89%
	2	Desempenho do equipamento/energético desfavorável	-3,6250	
Treinamento	1	Dispensa treinamento para operar com o gás natural	-0,1875	2,01%
	2	Necessita de treinamento para operar com o gás natural	-0,3750	

Em relação ao setor de alimentos e bebidas de SP (representado por 4 empresas), o atributo de maior importância é o impacto ao meio ambiente (38,79%), seguido do atributo disponibilidade (33,01%), condições operacionais (11,89%), estoque (8,56%), flexibilidade (5,75%) e treinamento (2,01%).

Tabela 6.7 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo do setor alimentos e bebidas do AM

<b>Resumo dos resultados do experimento – adaptação do arquivo de saída do SPSS</b>				
<b>Atributo</b>	<b>Nível do atributo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Utilidade</b>	<b>Importância medida</b>
Impacto ao meio ambiente	1	Baixo impacto ao meio ambiente (baixo nível de emissão de poluentes e/ou baixo impacto ambiental na produção e transporte)	-6,8500	44,88%
	2	Alto impacto ao meio ambiente (alto nível de emissão de poluentes e/ou alto impacto ambiental na produção e transporte)	-13,7000	
Flexibilidade	1	Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)	-2,3500	15,49%
	2	Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e/ou do combustível aos processos da fábrica)	-4,7000	
Disponibilidade	1	Fornecimento garantido	-1,3636	18,21%
	2	Fornecimento com riscos de corte	-2,7273	
	3	Não possui fornecimento por gasoduto	-4,0909	
Estoque	1	Dispensa estocagem	-0,4500	8,22%
	2	Necessita de estocagem	-0,9000	
Condições operacionais	1	Desempenho do equipamento/energético favorável para aplicação industrial (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)	-1,7000	11,56%
	2	Desempenho do equipamento/energético desfavorável	-3,4000	
Treinamento	1	Dispensa treinamento para operar com o gás natural	-0,1500	1,63%
	2	Necessita de treinamento para operar com o gás natural	-0,3000	

Em relação às cinco empresas pesquisadas do setor de alimentos e bebidas do Estado do AM, é possível observar, pela Tabela 6.7, que o atributo de maior importância é o impacto ao meio ambiente com 44,88% de importância relativa; em seguida, disponibilidade com 18,21%, flexibilidade com 15,49%, condições operacionais com 11,56% , estoque com 8,22% e, por último, treinamento com 1,63%.

As Tabelas 6.8 e 6.9 apresentam os resumos dos resultados da estimação do modelo para as empresas pesquisadas do setor metalúrgico dos Estados SP e AM.

Tabela 6.8 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo da indústria metalúrgica de SP  
**Resumo dos resultados do experimento – adaptação do arquivo de saída do SPSS**

Atributo	Nível do atributo	Descrição	Utilidade	Importância medida
Impacto ao meio ambiente	1	Baixo impacto ao meio ambiente (baixo nível de emissão de poluentes e/ou baixo impacto ambiental na produção e transporte)	-6,7500	44,07%
	2	Alto impacto ao meio ambiente (alto nível de emissão de poluentes e/ou alto impacto ambiental na produção e transporte)	-13,5000	
Flexibilidade	1	Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)	-3,7500	24,97%
	2	Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e/ou do combustível aos processos da fábrica)	-7,5000	
Disponibilidade	1	Fornecimento garantido	-1,1364	14,97%
	2	Fornecimento com riscos de corte	-2,2727	
Estoque	3	Não possui fornecimento por gasoduto	-3,4091	7,33%
	1	Dispensa estocagem	-1,1250	
Condições operacionais	2	Necessita de estocagem	-2,2500	6,54%
	1	Desempenho do equipamento/energético favorável para aplicação industrial (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)	-0,6250	
Treinamento	2	Desempenho do equipamento/energético desfavorável	-1,2500	2,12%
	1	Dispensa treinamento para operar com o gás natural	-0,1875	
	2	Necessita de treinamento para operar com o gás natural	-0,3750	

No caso das quatro empresas representantes do setor metalúrgico do Estado de SP, constata-se, pela Tabela 6.8, que o atributo “impacto ao meio ambiente” possui a maior importância (44,07%), seguido pelo atributo “flexibilidade” (24,97%), “disponibilidade” (14,97%), “estoque” (7,33%), “condições operacionais” (6,54%) e “treinamento” (2,12%).

Tabela 6.9 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo da indústria metalúrgica do AM

<b>Resumo dos resultados do experimento – adaptação do arquivo de saída do SPSS</b>				
<b>Atributo</b>	<b>Nível do atributo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Utilidade</b>	<b>Importância medida</b>
Impacto ao meio ambiente	1	Baixo impacto ao meio ambiente (baixo nível de emissão de poluentes e/ou baixo impacto ambiental na produção e transporte)	-6,8500	44,05%
	2	Alto impacto ao meio ambiente (alto nível de emissão de poluentes e/ou alto impacto ambiental na produção e transporte)	-13,7000	
Flexibilidade	1	Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)	-2,5500	17,53%
	2	Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e/ou do combustível aos processos da fábrica)	-5,1000	
Disponibilidade	1	Fornecimento garantido	-1,2182	16,02%
	2	Fornecimento com riscos de corte	-2,4364	
	3	Não possui fornecimento por gasoduto	-3,6545	
Estoque	1	Dispensa estocagem	-0,8000	6,56%
	2	Necessita de estocagem	-1,6000	
Condições operacionais	1	Desempenho do equipamento/energético favorável para aplicação industrial (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)	-1,4500	9,86%
	2	Desempenho do equipamento/energético desfavorável	-2,9000	
Treinamento	1	Dispensa treinamento para operar com o gás natural	-0,2500	5,98%
	2	Necessita de treinamento para operar com o gás natural	-0,5000	

Para as cinco empresas do setor metalúrgico do Estado do Amazonas, o atributo “impacto do meio ambiente” é o de maior importância com 44,05% de importância relativa, seguido do atributo “flexibilidade” com 17,53% de importância, “disponibilidade” com 16,02%, “condições operacionais” 9,86%, “estoque” 6,56% e “treinamento” 5,98%.

As Tabelas 6.10 e 6.11 apresentam o resumo dos resultados das empresas do setor de papel e celulose dos dois Estados estudados.

Tabela 6.10 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo da indústria de papel e celulose do Estado de SP

<b>Resumo dos resultados do experimento – adaptação do arquivo de saída do SPSS</b>				
<b>Atributo</b>	<b>Nível do atributo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Utilidade</b>	<b>Importância medida</b>
Impacto ao meio ambiente	1	Baixo impacto ao meio ambiente (baixo nível de emissão de poluentes e/ou baixo impacto ambiental na produção e transporte)	-8,0000	53,13%
	2	Alto impacto ao meio ambiente (alto nível de emissão de poluentes e/ou alto impacto ambiental na produção e transporte)	-16,0000	
Flexibilidade	1	Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)	-1,0000	6,60%
	2	Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e/ou do combustível aos processos da fábrica)	-2,0000	
Disponibilidade	1	Fornecimento garantido	-1,7879	23,56%
	2	Fornecimento com riscos de corte	-3,5758	
	3	Não possui fornecimento por gasoduto	-5,3636	
Estoque	1	Dispensa estocagem	-0,9167	6,02%
	2	Necessita de estocagem	-1,8333	
Condições operacionais	1	Desempenho do equipamento/energético favorável para aplicação industrial (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)	0,2500	1,62%
	2	Desempenho do equipamento/energético desfavorável	0,5000	
Treinamento	1	Dispensa treinamento para operar com o gás natural	0,6667	9,08%
	2	Necessita de treinamento para operar com o gás natural	1,3333	

Para o setor de papel e celulose do Estado de SP, do qual participaram três empresas, o atributo de maior importância é “impacto ao meio ambiente” (53,13%); em segundo lugar, está a “disponibilidade” (23,56%), seguido pelo “treinamento” (9,08%), “flexibilidade” (6,60%), “estoque” (6,02%), e, por último, o atributo “condições operacionais” (1,62%).

Tabela 6.11 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo da indústria de papel e celulose do Estado do AM

<b>Resumo dos resultados do experimento – adaptação do arquivo de saída do SPSS</b>				
<b>Atributo</b>	<b>Nível do atributo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Utilidade</b>	<b>Importância medida</b>
Impacto ao meio ambiente	1	Baixo impacto ao meio ambiente (baixo nível de emissão de poluentes e/ou baixo impacto ambiental na produção e transporte)	-3,8333	28,77%
	2	Alto impacto ao meio ambiente (alto nível de emissão de poluentes e/ou alto impacto ambiental na produção e transporte)	-7,6667	
Flexibilidade	1	Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)	-1,6667	13,74%
	2	Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e/ou do combustível aos processos da fábrica)	-3,3333	
Disponibilidade	1	Fornecimento garantido	-1,4242	24,82%
	2	Fornecimento com riscos de corte	-2,8485	
	3	Não possui fornecimento por gasoduto	-4,2727	
Estoque	1	Dispensa estocagem	-0,3333	5,77%
	2	Necessita de estocagem	-0,6667	

(Continua)

(Continuação)

Condições operacionais	1	Desempenho do equipamento/energético favorável para aplicação industrial (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)	-2,0000	14,84%
	2	Desempenho do equipamento/energético desfavorável	-4,0000	
Treinamento	1	Dispensa treinamento para operar com o gás natural	-0,9167	12,05%
	2	Necessita de treinamento para operar com o gás natural	-1,8333	

No caso das três empresas representantes do setor papel e celulose do Estado do AM, constata-se, pela Tabela 6.11, que o atributo “impacto ao meio ambiente” possui a maior importância (28,77%), seguido pelo atributo “disponibilidade” (24,82%), “condições operacionais” (14,84%), “flexibilidade” (13,74%), “treinamento” (12,05%) e “estoque” (5,77%).

A Tabela 6.12 apresenta o resumo dos resultados da estimação do modelo da indústria de vidro do Estado de SP.

Tabela 6.12 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo da indústria de vidro do Estado de SP

<b>Resumo dos resultados do experimento – adaptação do arquivo de saída do SPSS</b>				
<b>Atributo</b>	<b>Nível do atributo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Utilidade</b>	<b>Importância medida</b>
Impacto ao meio ambiente	1	Baixo impacto ao meio ambiente (baixo nível de emissão de poluentes e/ou baixo impacto ambiental na produção e transporte)	-4,6250	33,59%
	2	Alto impacto ao meio ambiente (alto nível de emissão de poluentes e/ou alto impacto ambiental na produção e transporte)	--9,2500	
Flexibilidade	1	Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)	-3,0000	20,38%
	2	Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e/ou do combustível aos processos da fábrica)	-6,0000	
Disponibilidade	1	Fornecimento garantido	-1,0455	13,83%
	2	Fornecimento com riscos de corte	-2,0909	
	3	Não possui fornecimento por gasoduto	-3,1364	
Estoque	1	Dispensa estocagem	-1,3750	10,04%
	2	Necessita de estocagem	-2,7500	
Condições operacionais	1	Desempenho do equipamento/energético favorável para aplicação industrial (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)	-2,7500	21,34%
	2	Desempenho do equipamento/energético desfavorável	-5,5000	
Treinamento	1	Dispensa treinamento para operar com o gás natural	-0,1250	0,81%
	2	Necessita de treinamento para operar com o gás natural	-0,2500	

Participaram da coleta de dados da indústria de vidro somente 2 empresas.

É possível observar, pela Tabela 6.12, que o atributo “impacto ao meio ambiente” permanece como o fator com maior importância relativa (33,59%); em seguida temos o atributo “condições operacionais” com 21,34% de importância, “flexibilidade” com 20,38%, “disponibilidade” com 13,83%, “estoque” com 10,04% e, por último, “treinamento” com 0,81%.

Como não houve nenhuma empresa pesquisada da indústria de vidro no Estado do AM, não serão apresentados resultados para o setor nesse Estado.

A Tabela 6.13 apresenta o resumo dos resultados da estimação do modelo da indústria cerâmica do Estado de SP.

Tabela 6.13 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo da indústria cerâmica do Estado de SP

<b>Resumo dos resultados do experimento – adaptação do arquivo de saída do SPSS</b>				
<b>Atributo</b>	<b>Nível do atributo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Utilidade</b>	<b>Importância medida</b>
Impacto ao meio ambiente	1	Baixo impacto ao meio ambiente (baixo nível de emissão de poluentes e/ou baixo impacto ambiental na produção e transporte)	-2,1429	13,16%
	2	Alto impacto ao meio ambiente (alto nível de emissão de poluentes e/ou alto impacto ambiental na produção e transporte)	--4,2857	
Flexibilidade	1	Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)	-0,9643	9,47%
	2	Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e/ou do combustível aos processos da fábrica)	-1,9286	
Disponibilidade	1	Fornecimento garantido	-3,0390	37,93%
	2	Fornecimento com riscos de corte	-6,0779	
	3	Não possui fornecimento por gasoduto	-9,1169	
Estoque	1	Dispensa estocagem	-0,4286	4,69%
	2	Necessita de estocagem	-0,8571	
Condições operacionais	1	Desempenho do equipamento/energético favorável para aplicação industrial (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)	-4,6429	29,34%
	2	Desempenho do equipamento/energético desfavorável	-9,2857	
Treinamento	1	Dispensa treinamento para operar com o gás natural	-0,9286	5,40%
	2	Necessita de treinamento para operar com o gás natural	-1,8571	

Foram coletados dados em 7 empresas da indústria cerâmica do Estado de SP. Como se pode constatar na Tabela 6.13, o atributo com maior importância relativa é a “disponibilidade” com 37,93%; depois vem “condições operacionais” com 29,34%,

“impacto ao meio ambiente” com 13,16%, “flexibilidade” com 9,47%, “treinamento” com 5,40% e “estoque” com 4,69%.

Vale ressaltar, também, que não foi consultada nenhuma empresa do setor cerâmico no Amazonas.

A Tabela 6.14 apresenta o resumo dos resultados da estimação do modelo da indústria de componentes plásticos do Estado do AM.

Tabela 6.14 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo da indústria de componentes plásticos do Estado do AM

<b>Resumo dos resultados do experimento – adaptação do arquivo de saída do SPSS</b>				
<b>Atributo</b>	<b>Nível do atributo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Utilidade</b>	<b>Importância medida</b>
Impacto ao meio ambiente	1	Baixo impacto ao meio ambiente (baixo nível de emissão de poluentes e/ou baixo impacto ambiental na produção e transporte)	-3,9375	24,86%
	2	Alto impacto ao meio ambiente (alto nível de emissão de poluentes e/ou alto impacto ambiental na produção e transporte)	-7,8750	
Flexibilidade	1	Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)	-1,7500	13,72%
	2	Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e/ou do combustível aos processos da fábrica)	-3,5000	
Disponibilidade	1	Fornecimento garantido	-2,8182	39,55%
	2	Fornecimento com riscos de corte	-5,6364	
	3	Não possui fornecimento por gasoduto	-8,4545	
Estoque	1	Dispensa estocagem	-0,2500	3,15%
	2	Necessita de estocagem	-0,5000	
Condições operacionais	1	Desempenho do equipamento/energético favorável para aplicação industrial (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)	-1,4375	11,33%
	2	Desempenho do equipamento/energético desfavorável	-2,8750	
Treinamento	1	Dispensa treinamento para operar com o gás natural	1,1875	7,40%
	2	Necessita de treinamento para operar com o gás natural	2,3750	

No caso das quatro empresas representantes da indústria de componentes plásticos do Estado do AM, constata-se, pela Tabela 6.14, que o atributo “disponibilidade” possui a maior importância (39,55%), seguido pelo atributo “impacto ao meio ambiente” (24,86%), “flexibilidade” (13,72%), “condições operacionais” (11,33%), “treinamento” (7,40%) e “estoque” (3,15%).

Não foi consultada nenhuma empresa de componentes plásticos no Estado de São Paulo, por isso não será apresentada a tabela de resumo de resultados para esse setor em SP.

A Tabela 6.15 apresenta o resumo dos resultados da estimação do modelo da indústria química do Estado do AM.

Tabela 6.15 – Tabela resumo dos resultados da estimação do modelo da indústria química do Estado do AM

<b>Resumo dos resultados do experimento – adaptação do arquivo de saída do SPSS</b>				
<b>Atributo</b>	<b>Nível do atributo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Utilidade</b>	<b>Importância medida</b>
Impacto ao meio ambiente	1	Baixo impacto ao meio ambiente (baixo nível de emissão de poluentes e/ou baixo impacto ambiental na produção e transporte)	-0,5000	3,41%
	2	Alto impacto ao meio ambiente (alto nível de emissão de poluentes e/ou alto impacto ambiental na produção e transporte)	-1,0000	
Flexibilidade	1	Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)	-1,0000	7,37%
	2	Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e/ou do combustível aos processos da fábrica)	-2,0000	
Disponibilidade	1	Fornecimento garantido	-3,6061	53,10%
	2	Fornecimento com riscos de corte	-7,2121	
	3	Não possui fornecimento por gasoduto	-10,818	
Estoque	1	Dispensa estocagem	-2,5833	18,26%
	2	Necessita de estocagem	-5,1667	
Condições operacionais	1	Desempenho do equipamento/energético favorável para aplicação industrial (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)	-2,2500	15,33%
	2	Desempenho do equipamento/energético desfavorável	-4,5000	
Treinamento	1	Dispensa treinamento para operar com o gás natural	0,0000	2,52%
	2	Necessita de treinamento para operar com o gás natural	0,0000	

Foram três empresas que participaram da coleta de dados na indústria química do Estado do AM. O atributo de maior importância é a “disponibilidade” (53,10%), seguido do atributo “estoque” (18,26%), “condições operacionais” (15,33%), “flexibilidade” (7,37%), “impacto ao meio ambiente” (3,41%) e “treinamento” (2,52%).

Como se pode perceber, o atributo impacto ao meio ambiente teve valores maiores de importâncias relativas nos setores analisados dos dois Estados estudados. Dos 5 setores analisados no Estado de SP, 4 tiveram uma importância relativa maior no atributo impacto ao meio ambiente e somente um setor (cerâmico) teve importância relativa maior no atributo disponibilidade. As empresas do setor cerâmico destacaram que, se não tiver acesso ao gás natural, fica difícil utilizar essa fonte energética no processo. Diante disso, elas dão prioridade, em primeiro lugar, ao fator “disponibilidade”.

Nesse setor, houve casos de empresas que estocavam parte do gás natural utilizado, pois o contrato com a distribuidora local permitia o abastecimento de um volume menor do que era consumido nos processos produtivos. Para garantir a demanda da fábrica, era necessário procurar outras fontes de fornecimento.

Com relação à importância relativa nos setores estudados do Estado do AM, o impacto ao meio ambiente foi identificado como o de maior importância por 3 setores estudados (alimentos e bebidas, metalúrgico e papel e celulose) e a disponibilidade foi identificado como o atributo de maior importância por 2 setores (componentes plásticos e químico). É importante destacar que as linhas de distribuição de GN estavam sendo instaladas na cidade no período da pesquisa e que o governo queria dar prioridade ao acesso do energético primeiramente às usinas termoeletricas para, depois, difundir o uso aos demais consumidores. Isso pode ter favorecido a elevada importância relativa do atributo “disponibilidade” nos diversos setores industriais do Estado.

Além das diferenças observadas por setor, também é possível notar a heterogeneidade nas preferências de cada respondente, possuindo aspectos distintos dos diversos respondentes.

Como exemplo do cálculo da importância relativa dos atributos em nível individual, tomaram-se, aleatoriamente, os dados dos respondentes 5 de SP e 5 do AM das Tabelas B.2 e B.4 do Apêndice B (refere-se aos resultados das utilidades parciais e *scores* por respondente no AM e em SP) para comparar com os resultados agregados do modelo.

Para calcular a importância relativa dos atributos em nível individual, deve-se, primeiramente, calcular as utilidades parciais dos níveis de cada atributo. Para isso, as Tabelas B.2 e B.4 do APÊNDICE B, originadas da execução do software SPSS 13.0, fornecem os coeficientes linear e quadrático de cada fator para as diversas empresas participantes dos dois Estados analisados. Esses dados foram consolidados nas Tabelas 6.16 e 6.17 a fim de apresentar, de forma mais clara, os resultados das utilidades e importâncias relativas para os respondentes 5 de SP e 5 do AM, respectivamente.

No caso do fator possuir níveis com relação linear, deve-se multiplicar o coeficiente linear pelo nível do fator cuja utilidade se deseja calcular.

No exemplo da Tabela B.2, o coeficiente linear para o atributo impacto ao meio ambiente do respondente 5 do Estado de SP é MeioAmbiente\_L= -1,25. Logo, a

utilidade parcial do nível 1 será igual a  $[1 \times (-1,25)] = -1,25$ . Já a utilidade parcial do nível 2 será igual a  $[2 \times (-1,25)] = -2,5$ .

Repetindo-se esse procedimento para os demais atributos, têm-se as utilidades parciais dos níveis de todos eles, conforme Tabela 6.16.

Se o fator possuir níveis com relação quadrática, o cálculo da utilidade parcial será diferente do cálculo da utilidade parcial do nível com relação linear. Para calcular essa utilidade, deve-se multiplicar o valor do nível pelo coeficiente linear e, depois, somar com o produto do coeficiente quadrático pelo quadrado do valor do nível. Como se pode visualizar pelas Tabelas 6.16 e 6.17, não existe nenhum nível com relação quadrática.

Tabela 6.16 – Utilidades parciais e importância relativa para o respondente 5 do Estado de SP

Atributo	Nível de atributo	Coeficiente_L	Utilidade	Amplitude	Importância medida
Impacto ao meio ambiente	1	-1,25	-1,25	1,25	8,12%
	2		-2,50		
Flexibilidade	1	-4,00	-4,00	4,00	26,00%
	2		-8,00		
Disponibilidade	1	-1,82	-1,82	3,64	23,65%
	2		-3,64		
	3		-5,46		
Estoque	1	-0,25	-0,25	0,25	1,62%
	2		-0,50		
Condições operacionais	1	-6,00	-6,00	6,00	39,00%
	2		-12,00		
Treinamento	1	-0,25	-0,25	0,25	1,62%
	2		-0,50		
				<b>Total 15,39</b>	

A partir das utilidades parciais de cada atributo, foram calculadas as amplitudes por atributo. Como mencionado, a amplitude é determinada pela diferença entre o valor mais alto e o mais baixo de utilidade parcial.

No exemplo da Tabela 6.16, para o atributo “impacto ao meio ambiente”, têm-se as seguintes utilidades parciais: nível 1 = -1,25 e nível 2 = -2,50.

A amplitude, nesse caso, é calculada pela diferença entre o valor mais alto (nível 1) e o valor mais baixo (nível 2), totalizando 1,25.

Repetindo esse procedimento para os demais atributos, conforme Tabela 6.16, tem-se o valor da amplitude total, representado pela soma das amplitudes (em valores absolutos) dos fatores. Neste caso, a amplitude total é 15,39.

Para finalizar o preenchimento da Tabela 6.16, o valor da importância relativa dos atributos, em nível individual, é obtido pela razão entre a amplitude do atributo e a soma dos valores absolutos das amplitudes de todos os fatores, dada pela Expressão 5.2.

$$W_i = \frac{\text{Amplitude das utilidades dos níveis do fator considerado}}{\text{Somatório dos valores absolutos das amplitudes de todos os fatores}}$$

Logo, a importância relativa do atributo impacto ao meio ambiente para o respondente da empresa 5 do Estado de SP será:

$$W_{\text{impacto ao meio ambiente}} = 1,25/15,39 = 8,12\%$$

O mesmo raciocínio vale para os demais atributos, que apresentam as seguintes importâncias relativas:

$$W_{\text{flexibilidade}} = 26,00\%$$

$$W_{\text{disponibilidade}} = 23,65\%$$

$$W_{\text{estoque}} = 1,62\%$$

$$W_{\text{condições operacionais}} = 39,00\%$$

$$W_{\text{treinamento}} = 1,62\%$$

Esta empresa é uma representante do setor de vidros. Pelos valores de importância relativa encontrados para ela, pode-se verificar que o fator condições operacionais é o de maior valor. Apesar disso, se se verificar o resumo dos resultados na análise agregada (consideram-se todas as empresas do setor na análise agregada) para o setor, identificar-se-á que o fator meio ambiente é o mais importante no processo de escolha do gás natural como energético para o processo produtivo.

Existe outra forma de se obter os resultados com utilidades parciais e importâncias relativas de cada empresa participante separadamente. Para isso, basta inserir a palavra *ALL* no subcomando *PRINT* da sintaxe, ou seja, *PRINT=ALL*, ao invés de *PRINT=SUMMARY ONLY*. Dessa forma, será possível ver detalhadamente o resultado de cada empresa participante, além de visualizar o resumo geral de todas as empresas.

Para a elaboração da Tabela 6.17, foram utilizados os dados do participante de número 5 do grupo de empresas do Estado do AM. Esses dados foram obtidos a partir de uma consulta na Tabela B.4 do APÊNDICE B. Por meio do mesmo método de cálculo de utilidades parciais utilizados para a empresa 5 do Estado de SP, foram calculadas as utilidades parciais de cada atributo para o respondente 5 do Estado do AM.

Tabela 6.17– Utilidades parciais e importância relativa para o respondente 5 do Estado do AM

Atributo	Nível de atributo	Coefficiente_L	Utilidade	Amplitude	Importância medida
Impacto ao meio ambiente	1	-8,00	-8,00	8,00	52,46%
	2		-16,00		
Flexibilidade	1	-1,25	-1,25	1,25	8,20%
	2		-2,50		
Disponibilidade	1	0,00	0,00	0,00	0%
	2		0,00		
	3		0,00		
Estoque	1	0,50	0,50	0,50	3,28%
	2		1,00		
Condições operacionais	1	-1,50	-1,50	1,50	9,84%
	2		-3,00		
Treinamento	1	-4,00	-4,00	4,00	26,23%
	2		-8,00		
				<b>Total 15,25</b>	

No caso do atributo “impacto ao meio ambiente”, o coeficiente linear é de -8,00; logo, a utilidade parcial para o nível 1 é igual a  $[1 \times (-8,00)] = -8,00$ . Já para o nível 2, a utilidade parcial é igual a  $[2 \times (-8,00)] = -16,00$ .

Para o atributo flexibilidade, o coeficiente linear é igual a -1,25. Logo, a utilidade parcial para o nível 1 é igual a  $[1 \times (-1,25)] = -1,25$ . Já para o nível 2 é igual a  $[2 \times (-1,25)] = -2,5$ .

Uma vez calculadas as utilidades parciais de cada nível dos seis atributos, deve-se calcular a amplitude. No caso do atributo impacto ao meio ambiente, a amplitude (diferença entre o valor mais alto de utilidade parcial e o mais baixo) totaliza 8,0. Repetindo esse procedimento para os demais atributos, é possível encontrar o valor da amplitude total (soma das amplitudes de todos os fatores) de 15,25.

Por fim, o valor da importância relativa dos atributos é obtido pela razão entre a amplitude do atributo e a soma dos valores absolutos das amplitudes das utilidades parciais de todos os fatores. Assim, o valor da importância relativa (IR) do atributo impacto ao meio ambiente para a empresa participante de número 5 do Estado do AM é de:

$$W_{\text{impacto ao meio ambiente}} = 8,00/15,25 = 52,46\%$$

O mesmo raciocínio vale para os demais atributos, que apresentam respectivamente as importâncias relativas de:

$$W_{\text{flexibilidade}} = 8,20\%$$

$$W_{\text{disponibilidade}} = 0\%$$

$$W_{\text{estoque}} = 3,28\%$$

$$W_{\text{condições operacionais}} = 9,84\%$$

$$W_{\text{treinamento}} = 26,23\%$$

Esta empresa é uma representante do setor de papel e celulose. Pelos valores de importância relativa encontrados para ela, pode-se verificar que o fator “impacto ao meio ambiente” é o de maior valor (52,46%). Vale ressaltar que, verificando-se o resumo dos resultados na análise agregada para o setor, identificar-se-á que o fator “impacto ao meio ambiente” também é o mais importante no processo de escolha do gás natural como energético para o processo produtivo, com um valor de 32,21% de importância relativa.

Comparando-se a importância relativa de cada respondente com o resultado do modelo agregado do setor, observam-se diferenças nos percentuais. Isso não invalida o modelo, uma vez que é apresentada, na etapa de validação dos resultados, a qualidade do ajuste de predição do experimento. Entretanto, é importante na análise dos resultados considerar estas distinções para garantir que a tomada de decisão seja coerente com essas particularidades.

#### **A função utilidade estimada**

A partir dos dados das utilidades parciais apresentados nas Tabelas 6.4 e 6.5, o modelo aditivo simples da estrutura de preferência no processo de escolha do GN, com base nos seis atributos de valor (impacto ao meio ambiente, flexibilidade, disponibilidade, estoque, condições operacionais e treinamento), é definido pela função de utilidade da Expressão 5.1.

#### **Função utilidade estimada com os dados do Estado de SP**

$$U(X) = (-4,9625) \cdot X_{\text{Impacto\_MeioAmbiente},1} + (-9,9250) \cdot X_{\text{Impacto\_MeioAmbiente},2} + (-1,7125) \cdot X_{\text{Flexibilidade},1} + (-3,4250) \cdot X_{\text{Flexibilidade},2} + (-2,1727) \cdot X_{\text{Disponibilidade},1} + (-4,3455) \cdot X_{\text{Disponibilidade},2} + (-6,5182) \cdot X_{\text{Disponibilidade},3} + (-0,8625) \cdot X_{\text{Estoque},1} + (-1,7250) \cdot X_{\text{Estoque},2} + (-2,3500) \cdot X_{\text{Cond.Operacionais},1} + (-4,7000) \cdot X_{\text{Cond.Operacionais},2} + (-0,3125) \cdot X_{\text{Treinamento},1} + (-0,6250) \cdot X_{\text{Treinamento},2} + 27,6023$$

#### **Função utilidade estimada com os dados do Estado do AM**

$$U(X) = (-4,8625) \cdot X_{\text{Impacto\_MeioAmbiente},1} + (-9,7250) \cdot X_{\text{Impacto\_MeioAmbiente},2} + (-1,9750) \cdot X_{\text{Flexibilidade},1} + (-3,9500) \cdot X_{\text{Flexibilidade},2} + (-1,9636) \cdot X_{\text{Disponibilidade},1} + (-3,9273) \cdot X_{\text{Disponibilidade},2} + (-5,8909) \cdot X_{\text{Disponibilidade},3} + (-0,8000) \cdot X_{\text{Estoque},1} + (-1,6000) \cdot X_{\text{Estoque},2} + (-1,7125) \cdot X_{\text{Cond.Operacionais},1} + (-3,425) \cdot X_{\text{Cond.Operacionais},2} + (0,0000) \cdot X_{\text{Treinamento},1} + (0,0000) \cdot X_{\text{Treinamento},2} + 25,9614$$

Considere-se que:

$U$  = utilidade global de uma alternativa

$X_{i,j}$  representa os níveis dos atributos, no qual  $j$  representa o nível do atributo (1, 2 ou 3) e  $i$  representa o atributo (impacto ao meio ambiente, flexibilidade, disponibilidade, estoque, condições operacionais ou treinamento).

As utilidades parciais dos atributos por indivíduo e consolidadas são apresentadas no APÊNDICE B deste trabalho.

Do resultado do experimento, tem-se que o resíduo é igual a 27,6023 para os dados agregados do Estado de SP e 25,9614 para os dados agregados do Estado do AM. Esses valores, segundo Castro (2006), representam os erros de ajuste do modelo, sendo eles:

- Atributos relevantes não incluídos na função utilidade;
- Erros de percepção cometidos pelo respondente;
- Diferenças não observáveis na avaliação.

#### **6.2.6 – Estágio 6: Validação dos resultados**

Dos resultados da análise conjunta, obteve-se um coeficiente de *Spearman* de 0,993 para o Estado de SP e 0,985 para o Estado do AM, ou seja, um valor muito próximo de um. Isso demonstra a qualidade de ajuste do modelo, representando um valor bastante aceitável.

Nos experimentos conjuntos realizados, o Kendall's tau, tanto para os dados de SP quanto para os dados do AM, foi igual a 0,917, que também é um valor aceitável. Lembrando que esse valor mede a correlação entre pares concordantes e discordantes. Ele calcula quantos pares concordantes existem a mais que os discordantes divididos pelo número total de pares, incluindo aqueles com o mesmo valor de resposta.

Dessa forma, pode-se concluir que o modelo se ajusta muito bem à realidade e os atributos “impactos ao meio ambiente”, “disponibilidade”, “condições operacionais” e “flexibilidade” merecem destaque nas estratégias adotadas pelo governo para massificar o uso do gás natural na matriz energética dos Estados de São Paulo e Amazonas.

Antes de iniciar a apresentação dos resultados da DEA, é importante mostrar como foram escolhidos os fabricantes dos equipamentos (caldeiras e aquecedores).

Foi realizada uma pesquisa de manuais dos diversos fabricantes de caldeiras e aquecedores na internet. A partir dessa pesquisa, foram selecionados os fabricantes que

produziam equipamentos movidos a gás natural e o maior número de unidades de equipamentos utilizando energéticos substitutos do GN. Diante disso, decidiu-se trabalhar com 3 fabricantes de caldeiras e 3 fabricantes de aquecedores.

### **6.3 Resultados da análise por envoltória de dados – 1ª. Aplicação (Caldeiras)**

Como mencionado anteriormente, será utilizada a ferramenta DEA em dois conjuntos de DMU's (caldeiras e aquecedores). O primeiro conjunto de DMU's a ser analisado será constituído de um total de 45 caldeiras de 3 fabricantes. Cada fabricante apresenta diversos modelos de caldeiras distintos. Para cada modelo, foram selecionados equipamentos utilizando de 2 a 5 energéticos considerados substitutos do gás natural.

Os resultados serão apresentados por meio de tabelas e gráficos. À medida que são apresentadas as ilustrações, são realizadas as diversas análises.

#### **6.3.1 Stepwise**

Com a preocupação em validar as variáveis selecionadas para a utilização da ferramenta DEA, foram necessárias algumas análises quantitativas dessas variáveis. Portanto, foi utilizado o método *setpwise*. Esse método consiste na análise do coeficiente de correlação entre as variáveis selecionadas.

Antes de iniciar esse método, é interessante calcular a correlação entre as variáveis selecionadas de *inputs* e as variáveis de *output*. Para isso, foram utilizadas planilhas do Excel. Após o cálculo da correlação, selecionou-se o par inicial de *input* e *output* a ser utilizado pelo método baseando-se no maior valor de correlação. Em seguida, foram calculados a produtividade e o *score* de eficiência desse par de variáveis para cada DMU (Veja Tabela 6.18).

Tabela 6.18 – Cálculo da produtividade e da eficiência do par inicial de *input* e *output*

Marca	Modelo	Combustível	Input (Gasto com consumo de comb. em R\$/Energia entregue em kJ/h)	Input (Emissão de CO <sub>2</sub> em ton./Energia entregue em kJ/h)	Output (Eficiência térmica)	Marca	Modelo	Combustível	Emissão de CO <sub>2</sub> em ton./Energia entregue em kJ/h	Eficiência térmica	Produtividade	Eficiência
Fabricante 1	M3P -10	Gás natural	0,0000377391	0,0000000522	0,901180866	AALBORG	M3P -10	Gás natural	0,0000000522	0,9011808663	17271302,87	96,409414
Fabricante 1	M3P -10	Óleo Diesel	0,0000333436	0,0000000770	0,877397496	AALBORG	M3P -10	Óleo Diesel	0,0000000770	0,8773974964	11395637,28	63,611108
Fabricante 1	M3P -10	GLP	0,0000310300	0,0000000602	0,902200721	AALBORG	M3P -10	GLP	0,0000000602	0,9022007212	14976960,12	83,60226
Fabricante 1	M3P -10	Óleo 1A	0,0000350877	0,0000000762	0,875598899	AALBORG	M3P -10	Óleo 1A	0,0000000762	0,8755988986	11484087,77	64,104844
Fabricante 1	FAM 10	Lenha	0,0001244019	0,0000000914	0,773537641	AALBORG	FAM 10	Lenha	0,0000000914	0,7735376408	8461525,088	47,232724
Fabricante 1	FAM 10	Cavaco de pinus	0,0001244019	0,0000000914	0,626020046	AALBORG	FAM 10	Cavaco de pinus	0,0000000914	0,6260200459	6847867,463	38,225193
Fabricante 1	M3P -15	Gás natural	0,0000377391	0,0000000522	0,907700047	AALBORG	M3P -15	Gás natural	0,0000000522	0,9077000470	17396241,73	97,10683
Fabricante 1	M3P -15	Óleo Diesel	0,0000333436	0,0000000770	0,883982093	AALBORG	M3P -15	Óleo Diesel	0,0000000770	0,8839820930	11481166,53	64,088537
Fabricante 1	M3P -15	GLP	0,0000310300	0,0000000602	0,906865668	AALBORG	M3P -15	GLP	0,0000000602	0,9068656680	15054400,98	84,034539
Fabricante 1	M3P -15	Óleo 1A	0,0000350877	0,0000000762	0,880653422	AALBORG	M3P -15	Óleo 1A	0,0000000762	0,8806534216	11550393,38	64,474965
Fabricante 1	FAM 15	Lenha	0,0001244019	0,0000000914	0,773367483	AALBORG	FAM 15	Lenha	0,0000000914	0,7733674830	8459663,642	47,222333
Fabricante 1	FAM 15	Cavaco de pinus	0,0001244019	0,0000000914	0,579961824	AALBORG	FAM 15	Cavaco de pinus	0,0000000914	0,5799618241	6344049,919	35,412854
Fabricante 1	M3P - 20	Gás natural	0,0000377391	0,0000000522	0,90750696	AALBORG	M3P - 20	Gás natural	0,0000000522	0,9075069605	17392542,77	97,086182
Fabricante 1	M3P - 20	Óleo Diesel	0,0000333436	0,0000000770	0,884189455	AALBORG	M3P - 20	Óleo Diesel	0,0000000770	0,8841894545	11483853,75	64,103537
Fabricante 1	M3P - 20	GLP	0,0000310300	0,0000000602	0,907804452	AALBORG	M3P - 20	GLP	0,0000000602	0,9078044524	15069987,49	84,121544
Fabricante 1	M3P - 20	Óleo 1A	0,0000350877	0,0000000766	0,881436225	AALBORG	M3P - 20	Óleo 1A	0,0000000766	0,8814362246	11506121,46	64,227837
Fabricante 1	M3P - 20	Lenha	0,0001244019	0,0000000914	0,773282432	AALBORG	M3P - 20	Lenha	0,0000000914	0,7732824321	8458733,226	47,217139
Fabricante 1	M3P - 20	Cavaco de pinus	0,0001244019	0,0000000914	0,626020046	AALBORG	M3P - 20	Cavaco de pinus	0,0000000914	0,6260200459	6847871,029	38,225213
Fabricante 2	CGV - 30	GN	0,0000360111	0,0000000498	0,869968154	Morganti	CGV - 30	GN	0,0000000498	0,8699681543	17473899,54	97,54032
Fabricante 2	CGV - 30	Óleo Diesel	0,0000400123	0,0000000832	0,87457116	Morganti	CGV - 30	Óleo Diesel	0,0000000832	0,8745711604	10505408,73	58,641801
Fabricante 2	CGV - 30	GLP	0,0000311005	0,0000000604	0,826469747	Morganti	CGV - 30	GLP	0,0000000604	0,8264697466	13688190,94	76,408275
Fabricante 2	CGV - 30	Lenha	0,0000977444	0,0000000718	0,624709501	Morganti	CGV - 30	Lenha	0,0000000718	0,6247095010	8698099,72	48,553297
Fabricante 2	CGV - 30	Carvão vegetal	0,0000456140	0,0000000955	0,677381086	Morganti	CGV - 30	Carvão vegetal	0,0000000955	0,6773810864	7093687,319	39,597374

(Continua)

(Continuação)

Fabricante 2 CGV - 150	GN	0,0000360111	0,0000000498	0,794682449	Morganti	CGV - 150 GN	0,0000000498	0,7946824486	15961144,55	89,096034
Fabricante 2 CGV - 150	Óleo Diesel	0,0000400123	0,0000000832	0,810047867	Morganti	CGV - 150 Óleo Diesel	0,0000000832	0,8100478671	9732020,825	54,324704
Fabricante 2 CGV - 150	GLP	0,0000311005	0,0000000604	0,754948326	Morganti	CGV - 150 GLP	0,0000000604	0,7549483262	12504041,35	69,798284
Fabricante 2 CGV - 150	Lenha	0,0000977444	0,0000000718	0,624709501	Morganti	CGV - 150 Lenha	0,0000000718	0,6247095010	8697241,157	48,548504
Fabricante 2 CGV - 150	Carvão vegetal	0,0000456140	0,0000000955	0,673419794	Morganti	CGV - 150 Carvão vegetal	0,0000000955	0,6734197935	7053480,184	39,372935
Fabricante 2 CGV - 400	GN	0,0000360111	0,0000000498	0,819024073	Morganti	CGV - 400 GN	0,0000000498	0,8190240732	16449959,64	91,824628
Fabricante 2 CGV - 400	Óleo Diesel	0,0000400123	0,0000000832	0,821494106	Morganti	CGV - 400 Óleo Diesel	0,0000000832	0,8214941061	9869457,44	55,091884
Fabricante 2 CGV - 400	GLP	0,0000311005	0,0000000604	0,778335821	Morganti	CGV - 400 GLP	0,0000000604	0,7783358208	12891331,53	71,96016
Fabricante 2 CGV - 400	Lenha	0,0000977444	0,0000000718	0,623722598	Morganti	CGV - 400 Lenha	0,0000000718	0,6237225982	8683420,197	48,471355
Fabricante 2 CGV - 400	Carvão vegetal	0,0000456140	0,0000000944	0,671946227	Morganti	CGV - 400 Carvão vegetal	0,0000000944	0,6719462272	7118847,092	39,737817
Fabricante 3 VSH - 780	GN	0,0000363942	0,0000000503	0,901008563	Domel	VSH - 780 GN	0,0000000503	0,9010085634	17906087,74	99,95282
Fabricante 3 VSH - 780	Óleo Diesel	0,0000325815	0,0000000678	0,897932344	Domel	VSH - 780 Óleo Diesel	0,0000000678	0,8979323437	13247901,66	73,950555
Fabricante 3 VSH - 780	GLP	0,0000311005	0,0000000604	0,890729678	Domel	VSH - 780 GLP	0,0000000604	0,8907296779	14753064,63	82,352462
Fabricante 3 VSH - 780	Óleo 1A	0,0000350877	0,0000000762	0,899144128	Domel	VSH - 780 Óleo 1A	0,0000000762	0,8991441283	11792980,18	65,829099
Fabricante 3 VSH - 3000	GN	0,0000363942	0,0000000503	0,899058065	Domel	VSH - 3000 GN	0,0000000503	0,8990580646	17867416,29	99,736953
Fabricante 3 VSH - 3000	Óleo Diesel	0,0000325815	0,0000000678	0,899561739	Domel	VSH - 3000 Óleo Diesel	0,0000000678	0,8995617386	13272036,28	74,085276
Fabricante 3 VSH - 3000	GLP	0,0000311005	0,0000000604	0,89830361	Domel	VSH - 3000 GLP	0,0000000604	0,8983036103	14878420,53	83,052206
Fabricante 3 VSH - 3000	Óleo 1A	0,0000350877	0,0000000766	0,902405453	Domel	VSH - 3000 Óleo 1A	0,0000000766	0,9024054532	11779872,03	65,755929
Fabricante 3 VSH - 5000	GN	0,0000363942	0,0000000503	0,901430249	Domel	VSH - 5000 GN	0,0000000503	0,9014302495	17914539,86	100
Fabricante 3 VSH - 5000	Óleo Diesel	0,0000325815	0,0000000678	0,899561739	Domel	VSH - 5000 Óleo Diesel	0,0000000678	0,8995617386	13272063,83	74,08543
Fabricante 3 VSH - 5000	GLP	0,0000311005	0,0000000604	0,901076152	Domel	VSH - 5000 GLP	0,0000000604	0,9010761523	14924372,71	83,308714
Fabricante 3 VSH - 5000	Óleo 1A	0,0000350877	0,0000000762	0,899939865	Domel	VSH - 5000 Óleo 1A	0,0000000762	0,8999398646	11803332,42	65,886886

<b>Correlação</b>	Eficiência								máximo	17914539,86
<b>Gasto c/ consumo</b>	-0,7379								<b>Eficiência Média</b>	<b>68,38823896</b>
									<b>Desvio Padrão</b>	<b>19,60570242</b>
									<b>Coefficiente de Variação</b>	<b>0,28668237</b>
									<b>Variância</b>	<b>393,1195574</b>
									<b>Mínimo</b>	<b>35,41285441</b>
									<b>Mediana</b>	<b>65,82909902</b>
									<b>Máximo</b>	<b>100</b>

Emissão de CO<sub>2</sub> -0,5611

Na etapa seguinte do método stepwise, foi calculada a correlação entre a variável restante e a eficiência obtida por meio do par inicial. Após o cálculo da correlação, foi incluída a nova variável no modelo e foi calculada a eficiência das variáveis com o apoio da ferramenta DEA.

A idéia central foi incluir variáveis ao modelo e fazer a comparação entre a eficiência média anterior e a eficiência média obtida com a adição de mais uma variável. A variável somente foi mantida na análise, quando apresentou um aumento na eficiência média; as variáveis que não apresentassem esse aumento deveriam ser excluídas do modelo. Esta última situação não ocorreu, visto que todas as variáveis trouxeram aumento na eficiência média. Veja a Tabela 6.19.

Tabela 6.19 – Cálculo da eficiência entre a variável restante e a eficiência obtida pelo par inicial

Marca	Modelo	Combustível	Input (Gasto com consumo de comb. em R\$/Energia entregue em kJ/h)	Eficiência	Marca	Modelo	Combustível	Input (Emissão de CO2 em ton./Energia entregue em kJ/h)	Input (Gasto c/ consumo de comb./Energia entregue)	Output (Eficiência térmica)	Eficiência
Fabricante 1	M3P -10	Gás natural	0,0000377391	96,40941	AALBORG	M3P -10	Gás natural	0,0000000522	0,000037739	0,901180866	99,28
Fabricante 1	M3P -10	Óleo Diesel	0,0000333436	63,61111	AALBORG	M3P -10	Óleo Diesel	0,0000000770	0,000033344	0,877397496	96,65
Fabricante 1	M3P -10	GLP	0,0000310300	83,60226	AALBORG	M3P -10	GLP	0,0000000602	0,000031030	0,902200721	99,38
Fabricante 1	M3P -10	Óleo 1A	0,0000350877	64,10484	AALBORG	M3P -10	Óleo 1A	0,0000000762	0,000035088	0,875598899	96,45
Fabricante 1	FAM 10	Lenha	0,0001244019	47,23272	AALBORG	FAM 10	Lenha	0,0000000914	0,000124402	0,773537641	85,21
Fabricante 1	FAM 10	Cavaco de pinus	0,0001244019	38,22519	AALBORG	FAM 10	Cavaco de pinus	0,0000000914	0,000124402	0,626020046	68,96
Fabricante 1	M3P -15	Gás natural	0,0000377391	97,10683	AALBORG	M3P -15	Gás natural	0,0000000522	0,000037739	0,907700047	100
Fabricante 1	M3P -15	Óleo Diesel	0,0000333436	64,08854	AALBORG	M3P -15	Óleo Diesel	0,0000000770	0,000033344	0,883982093	97,38
Fabricante 1	M3P -15	GLP	0,0000310300	84,03454	AALBORG	M3P -15	GLP	0,0000000602	0,000031030	0,906865668	99,9
Fabricante 1	M3P -15	Óleo 1A	0,0000350877	64,47497	AALBORG	M3P -15	Óleo 1A	0,0000000762	0,000035088	0,880653422	97,01
Fabricante 1	FAM 15	Lenha	0,0001244019	47,22233	AALBORG	FAM 15	Lenha	0,0000000914	0,000124402	0,773367483	85,19
Fabricante 1	FAM 15	Cavaco de pinus	0,0001244019	35,41285	AALBORG	FAM 15	Cavaco de pinus	0,0000000914	0,000124402	0,579961824	63,89
Fabricante 1	M3P - 20	Gás natural	0,0000377391	97,08618	AALBORG	M3P - 20	Gás natural	0,0000000522	0,000037739	0,90750696	99,98
Fabricante 1	M3P - 20	Óleo Diesel	0,0000333436	64,10354	AALBORG	M3P - 20	Óleo Diesel	0,0000000770	0,000033344	0,884189455	97,4
Fabricante 1	M3P - 20	GLP	0,0000310300	84,12154	AALBORG	M3P - 20	GLP	0,0000000602	0,000031030	0,907804452	100
Fabricante 1	M3P - 20	Óleo 1A	0,0000350877	64,22784	AALBORG	M3P - 20	Óleo 1A	0,0000000766	0,000035088	0,881436225	97,1
Fabricante 1	M3P - 20	Lenha	0,0001244019	47,21714	AALBORG	M3P - 20	Lenha	0,0000000914	0,000124402	0,773282432	85,18
Fabricante 1	M3P - 20	Cavaco de pinus	0,0001244019	38,22521	AALBORG	M3P - 20	Cavaco de pinus	0,0000000914	0,000124402	0,626020046	68,96
Fabricante 2	CGV - 30	GN	0,0000360111	97,54032	Morganti	CGV - 30	GN	0,0000000498	0,000036011	0,869968154	100
Fabricante 2	CGV - 30	Óleo Diesel	0,0000400123	58,6418	Morganti	CGV - 30	Óleo Diesel	0,0000000832	0,000040012	0,87457116	96,34
Fabricante 2	CGV - 30	GLP	0,0000311005	76,40828	Morganti	CGV - 30	GLP	0,0000000604	0,000031100	0,826469747	91,04
Fabricante 2	CGV - 30	Lenha	0,0000977444	48,5533	Morganti	CGV - 30	Lenha	0,0000000718	0,000097744	0,624709501	68,82
Fabricante 2	CGV - 30	Carvão vegetal	0,0000456140	39,59737	Morganti	CGV - 30	Carvão vegetal	0,0000000955	0,000045614	0,677381086	74,62
Fabricante 2	CGV - 150	GN	0,0000360111	89,09603	Morganti	CGV - 150	GN	0,0000000498	0,000036011	0,794682449	91,34
Fabricante 2	CGV - 150	Óleo Diesel	0,0000400123	54,3247	Morganti	CGV - 150	Óleo Diesel	0,0000000832	0,000040012	0,810047867	89,23
Fabricante 2	CGV - 150	GLP	0,0000311005	69,79828	Morganti	CGV - 150	GLP	0,0000000604	0,000031100	0,754948326	83,16
Fabricante 2	CGV - 150	Lenha	0,0000977444	48,5485	Morganti	CGV - 150	Lenha	0,0000000718	0,000097744	0,624709501	68,82
Fabricante 2	CGV - 150	Carvão vegetal	0,0000456140	39,37294	Morganti	CGV - 150	Carvão vegetal	0,0000000955	0,000045614	0,673419794	74,18

(Continua)

(Continuação)

Marca	Modelo	Combustível	Input (Gasto com consumo de comb. em R\$/Energia entregue em kJ/h)	Eficiência	Marca	Modelo	Combustível	Input (Emissão de CO2 em ton./Energia entregue em kJ/h)	Input (Gasto c/ consumo de comb./Energia entregue)	Output (Eficiência térmica)	Eficiência
Fabricante 2	CGV - 400	GN	0,0000360111	91,82463	Morganti	CGV - 400	GN	0,0000000498	0,000036011	0,819024073	94,14
Fabricante 2	CGV - 400	Óleo Diesel	0,0000400123	55,09188	Morganti	CGV - 400	Óleo Diesel	0,0000000832	0,000040012	0,821494106	90,49
Fabricante 2	CGV - 400	GLP	0,0000311005	71,96016	Morganti	CGV - 400	GLP	0,0000000604	0,000031100	0,778335821	85,74
Fabricante 2	CGV - 400	Lenha	0,0000977444	48,47135	Morganti	CGV - 400	Lenha	0,0000000718	0,000097744	0,623722598	68,71
Fabricante 2	CGV - 400	Carvão vegetal	0,0000456140	39,73782	Morganti	CGV - 400	Carvão vegetal	0,0000000944	0,000045614	0,671946227	74,02
Fabricante 3	VSH - 780	GN	0,0000363942	99,95282	Domel	VSH - 780	GN	0,0000000503	0,000036394	0,901008563	99,95
Fabricante 3	VSH - 780	Óleo Diesel	0,0000325815	73,95056	Domel	VSH - 780	Óleo Diesel	0,0000000678	0,000032581	0,897932344	98,91
Fabricante 3	VSH - 780	GLP	0,0000311005	82,35246	Domel	VSH - 780	GLP	0,0000000604	0,000031100	0,890729678	98,12
Fabricante 3	VSH - 780	Óleo 1A	0,0000350877	65,8291	Domel	VSH - 780	Óleo 1A	0,0000000762	0,000035088	0,899144128	99,05
Fabricante 3	VSH - 3000	GN	0,0000363942	99,73695	Domel	VSH - 3000	GN	0,0000000503	0,000036394	0,899058065	99,74
Fabricante 3	VSH - 3000	Óleo Diesel	0,0000325815	74,08528	Domel	VSH - 3000	Óleo Diesel	0,0000000678	0,000032581	0,899561739	99,09
Fabricante 3	VSH - 3000	GLP	0,0000311005	83,05221	Domel	VSH - 3000	GLP	0,0000000604	0,000031100	0,89830361	98,95
Fabricante 3	VSH - 3000	Óleo 1A	0,0000350877	65,75593	Domel	VSH - 3000	Óleo 1A	0,0000000766	0,000035088	0,902405453	99,41
Fabricante 3	VSH - 5000	GN	0,0000363942	100	Domel	VSH - 5000	GN	0,0000000503	0,000036394	0,901430249	100
Fabricante 3	VSH - 5000	Óleo Diesel	0,0000325815	74,08543	Domel	VSH - 5000	Óleo Diesel	0,0000000678	0,000032581	0,899561739	99,09
Fabricante 3	VSH - 5000	GLP	0,0000311005	83,30871	Domel	VSH - 5000	GLP	0,0000000604	0,000031100	0,901076152	99,26
Fabricante 3	VSH - 5000	Óleo 1A	0,0000350877	65,88689	Domel	VSH - 5000	Óleo 1A	0,0000000762	0,000035088	0,899939865	99,13

<b>Correlação</b>	Eficiência	Eficiência média	90,65044444
		Desvio Padrão	11,37872595
Gasto com consumo de comb./Energia entregue	-	Coef. de variação	0,125523113
	0,652651793	Variância	132,4180271
		Mínimo	63,89
		Mediana	97,01
		Máximo	100

### 6.3.2 Efficiency scores

O *score* de eficiência é obtido pelo processamento da DEA. Nessa categoria de resultado, é apresentado um resumo geral da eficiência de cada DMU em uma janela denominada *Efficiency scores*. As unidades consideradas eficientes possuem pontuação equivalente a 100.

Dessa forma, a partir da análise por envoltória de dados, foi obtido um *score* classificatório identificando a eficiência técnica de cada DMU analisada. Decidiu-se obter o *score* de eficiência de todos os 3 fabricantes de caldeiras simultaneamente e, em seguida, também foi gerado o resultado desse *score* para cada fabricante separadamente. Isso permitiu realizar uma comparação entre fabricantes e entre equipamentos de um mesmo fabricante.

#### 6.3.2.1 Análise do *score* de eficiência dos 3 fabricantes simultaneamente

A Tabela 6.20 apresenta os *scores* de eficiência para cada DMU (caldeira) dos 3 fabricantes. Os *scores* são apresentados em ordem decrescente. Dessa forma, é possível ver o desempenho de cada unidade sistematicamente.

Tabela 6.20 – *Scores* de eficiência das caldeiras dos 3 fabricantes

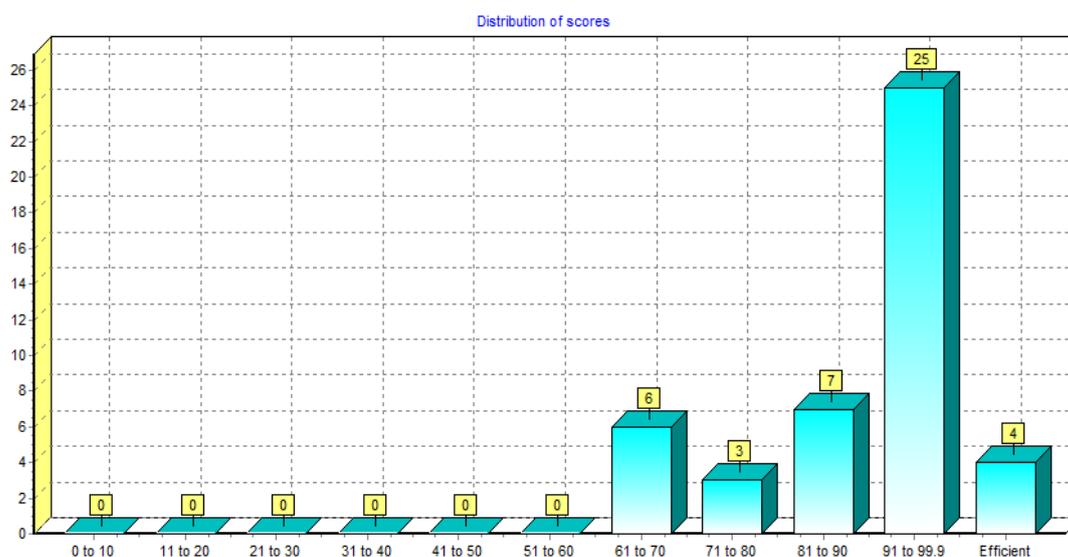
Unit	Score
<b>Fabricante2/CGV-30/GN</b>	<b>100</b>
<b>Fabricante3/VSH-5000/GN</b>	<b>100</b>
<b>Fabricante1/M3P-15/GN</b>	<b>100</b>
Fabricante1/M3P-20/GLP	100
<b>Fabricante1/M3P-20/GN</b>	<b>99,98</b>
<b>Fabricante3/VSH-780/GN</b>	<b>99,95</b>
Fabricante1/M3P-15/GLP	99,9
<b>Fabricante3/VSH-3000/GN</b>	<b>99,74</b>
Fabricante3/VSH-3000/Oleo1A	99,41
Fabricante1/M3P-10/GLP	99,38
<b>Fabricante1/M3P-10/GN</b>	<b>99,28</b>
Fabricante3/VSH-5000/GLP	99,26
Fabricante3/VSH-5000/Oleo1A	99,13
Fabricante3/VSH-5000/OleoDiesel	99,09
Fabricante3/VSH-3000/OleoDiesel	99,09
Fabricante3/VSH-780/Óleo1A	99,05
Fabricante3/VSH-3000/GLP	98,95
Fabricante3/VSH-780/OleoDiesel	98,91
Fabricante3/VSH-780/GLP	98,12
Fabricante1/M3P-20/OleoDiesel	97,4

(Continua)

(Continuação)

Fabricante1/M3P-15/OleoDiesel	97,38
Fabricante1/M3P-20/Oleo1A	97,1
Fabricante1/M3P-15/Oleo1A	97,01
Fabricante1/M3P-10/OleoDiesel	96,65
Fabricante1/M3P-10/Oleo1A	96,45
Fabricante2/CGV-30/OleoDiesel	96,34
<b>Fabricante2/CGV-400/GN</b>	<b>94,14</b>
<b>Fabricante2/CGV-150/GN</b>	<b>91,34</b>
Fabricante2/CGV-30/GLP	91,04
Fabricante2/CGV-400/OleoDiesel	90,49
Fabricante2/CGV-150/OleoDiesel	89,23
Fabricante2/CGV-400/GLP	85,74
Fabricante1/FAM10/Lenha	85,21
Fabricante1/FAM15/Lenha	85,19
Fabricante1/FAM20/Lenha	85,18
Fabricante2/CGV-150/GLP	83,16
Fabricante2/CGV-30/CarvaoVegetal	74,62
Fabricante2/CGV-150/CarvaoVegetal	74,18
Fabricante2/CGV-400/CarvaoVegetal	74,02
Fabricante1/FAM20/CavacodePinus	68,96
Fabricante1/FAM10/CavacodePinus	68,96
Fabricante2/CGV-30/Lenha	68,82
Fabricante2/CGV-150/Lenha	68,82
Fabricante2/CGV-400/Lenha	68,71
Fabricante1/FAM15/CavacodePinus	63,89

O Gráfico 6.3 apresenta uma visão geral da distribuição dos *scores*. Isso permite visualizar rapidamente se a maioria das unidades é ineficiente, aproximadamente eficiente ou está numa posição bem distribuída entre a eficiência e a ineficiência.

Gráfico 6.3 – Distribuição dos *scores*

Como observado no Gráfico 6.3, os *scores* de eficiência das caldeiras variam entre 61% e 100%. Além disso, é possível observar que 25 das 35 DMU's possuem um *score* de eficiência entre 91 e 99,9%.

### 6.3.2.2 Análise dos *scores* de eficiência de cada fabricante separadamente

As Tabelas 6.21, 6.22 e 6.23 apresentam os *scores* de eficiência das DMU's (caldeiras) por fabricante. Dessa forma, é possível identificar o desempenho do equipamento baseado no energético utilizado. Novamente, os *scores* são apresentados em ordem decrescente, com o intuito de apresentar o desempenho de cada unidade sistematicamente.

Tabela 6.21 – *Scores* de eficiência das caldeiras do fabricante1

Unit	Score
<b>Fabricante1/M3P-15/GN</b>	<b>100</b>
Fabricante1/M3P-20/GLP	100
<b>Fabricante1/M3P-20/GN</b>	<b>99,98</b>
Fabricante1/M3P-15/GLP	99,9
Fabricante1/M3P-10/GLP	99,38
<b>Fabricante1/M3P-10/GN</b>	<b>99,28</b>
Fabricante1/M3P-20/OleoDiesel	97,4
Fabricante1/M3P-15/OleoDiesel	97,38
Fabricante1/M3P-20/Oleo1A	97,1
Fabricante1/M3P-15/Oleo1A	97,01
Fabricante1/M3P-10/OleoDiesel	96,65
Fabricante1/M3P-10/Oleo1A	96,45
Fabricante1/FAM10/Lenha	85,21
Fabricante1/FAM15/Lenha	85,19
Fabricante1/FAM20/Lenha	85,18
Fabricante1/FAM20/CavacodePinus	68,96
Fabricante1/FAM10/CavacodePinus	68,96
Fabricante1/FAM15/CavacodePinus	63,89

Para o modelo M3P-15, a DMU à base de GN teve maior eficiência produtiva relativa, ou seja, analisando-se os 3 indicadores (nível de emissão, gasto com consumo e eficiência térmica) ao mesmo tempo, a caldeira com o melhor desempenho foi a que utiliza o gás natural como energético. Para os modelos M3P-20 e M3P-10 do fabricante 1, a DMU que utiliza o GLP teve a maior eficiência produtiva relativa. Para os modelos que utilizam biomassa (lenha ou cavaco de pinus), o desempenho maior foi visualizado nas caldeiras que utilizam a lenha como energético.

Tabela 6.22 – Scores de eficiência das caldeiras do fabricante2

Unit	Score
<b>Fabricante2/CGV-30/GN</b>	<b>100</b>
Fabricante2/CGV-30/OleoDiesel	100
Fabricante2/CGV-30/GLP	100
Fabricante2/CGV-150/GLP	100
Fabricante2/CGV-400/GLP	100
<b>Fabricante2/CGV-400/GN</b>	<b>94,14</b>
Fabricante2/CGV-400/OleoDiesel	93,93
Fabricante2/CGV-150/OleoDiesel	92,62
<b>Fabricante2/CGV-150/GN</b>	<b>91,35</b>
Fabricante2/CGV-30/CarvaoVegetal	77,45
Fabricante2/CGV-150/CarvaoVegetal	77
Fabricante2/CGV-400/CarvaoVegetal	76,83
Fabricante2/CGV-30/Lenha	71,56
Fabricante2/CGV-150/Lenha	71,56
Fabricante2/CGV-400/Lenha	71,45

Pela Tabela 6.22, percebe-se que, para o modelo CGV-30, o GN teve o melhor desempenho. Enquanto que, para os modelos CGV-150 e CGV-400, foi o GLP que apresentou o melhor desempenho. Vale destacar que, nesses dois últimos modelos do fabricante 2, o GN apresentou o segundo melhor desempenho.

Tabela 6.23 – Scores de eficiência das caldeiras do fabricante3

Unit	Score
Fabricante3/VSH-780/GLP	100
<b>Fabricante3/VSH-3000/GN</b>	<b>100</b>
Fabricante3/VSH-3000/Oleo1A	100
<b>Fabricante3/VSH-5000/GN</b>	<b>100</b>
Fabricante3/VSH-5000/GLP	100
<b>Fabricante3/VSH-780/GN</b>	<b>99,95</b>
Fabricante3/VSH-3000/OleoDiesel	99,78
Fabricante3/VSH-5000/OleoDiesel	99,78
Fabricante3/VSH-5000/Oleo1A	99,73
Fabricante3/VSH-3000/GLP	99,69
Fabricante3/VSH-780/Óleo1A	99,64
Fabricante3/VSH-780/OleoDiesel	99,6

Pela Tabela 6.23, percebe-se que, para o modelo VSH-780, o GLP teve o melhor desempenho. Enquanto que, para os modelos VSH-3000 e VSH-5000, foi o GN que apresentou o melhor desempenho.

### 6.3.3 *Potential Improvements*

O campo de *Potential Improvements* apresenta um gráfico com as diversas variáveis de input/output ao longo do eixo Y, e o percentual de melhoria potencial ao longo eixo X. O percentual de melhoria para cada *input* e *output* que a unidade precisará ter para tornar-se eficiente é mostrado na forma de gráficos de barras.

Além do gráfico de barras, é possível visualizar as potenciais melhorias por meio de tabelas. As tabelas de *Potential Improvements* apresentam, de forma mais detalhada, os valores *input/output* atuais das unidades (denominados *actual*), os valores de *input/output* que devem ser alcançados pelas unidades para se tornarem eficientes (denominados *target*) e a diferença percentual entre esses valores (denominado *potential improvement*). Essa diferença representa a distância percentual entre a estrutura *input/output* da unidade ineficiente e a estrutura *input/output* da fronteira de eficiência.

Os gráficos e as tabelas visualizados no campo *Potential Improvements* apresentam os percentuais que os equipamentos podem diminuir ou aumentar, baseados na orientação definida do modelo (para *input* ou para *output*), para atingir o objetivo de se tornar 100% eficiente.

O Gráfico 6.4 ilustra as *Potential Improvements* de uma unidade eficiente de caldeira, e a Tabela 6.24 apresenta, de forma mais detalhada, todas as informações contidas por trás do Gráfico 6.4 (os valores de *input/output* atuais das unidades, os valores de *input/output* que devem ser alcançados pelas unidades para se tornarem eficientes e a diferença percentual desses valores).

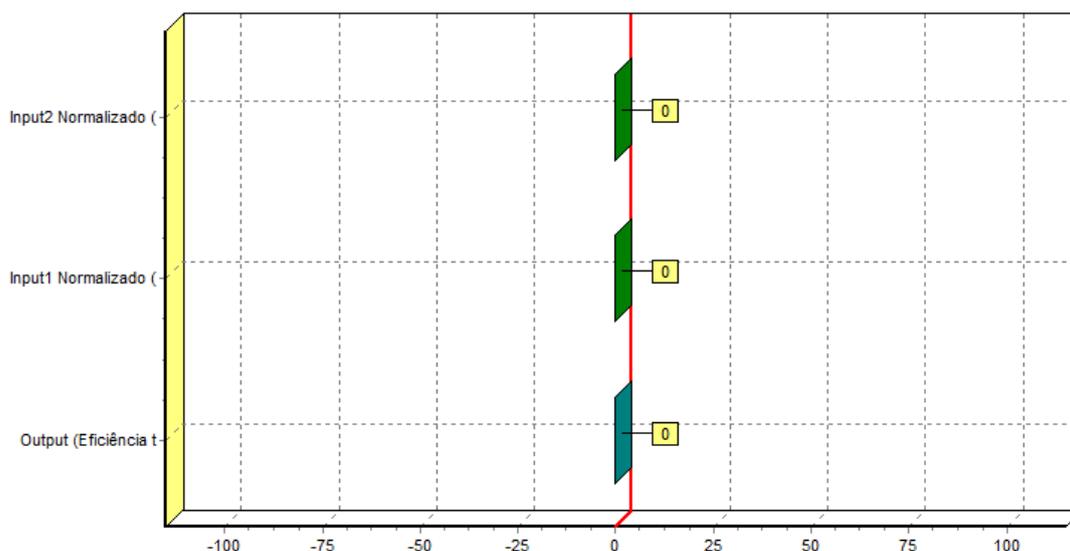


Gráfico 6.4 - *Potential Improvements* da caldeira do Fabricante 2 modelo CGV-30 movido a gás natural

Como se trata de uma unidade eficiente de caldeira, não será necessário maximizar e nem minimizar nenhuma variável de *output* e nem de *input*.

Tabela 6.24- Tabelas de *Potential Improvements* com informações mais detalhadas

		Actual	Target	Potential Improvement
<b>Inputs</b>	Input2 Normalizado (Emissão de CO <sub>2</sub> /Energia entregue)	0,52	0,52	0
	Input1 Normalizado (Gasto c/ consumo de comb./Energia entregue)	0,29	0,29	0
<b>Outputs</b>	Output (Eficiência térmica)	0,87	0,87	0

O Gráfico 6.5 apresenta dados de *Potential Improvements* de uma unidade de caldeira ineficiente.

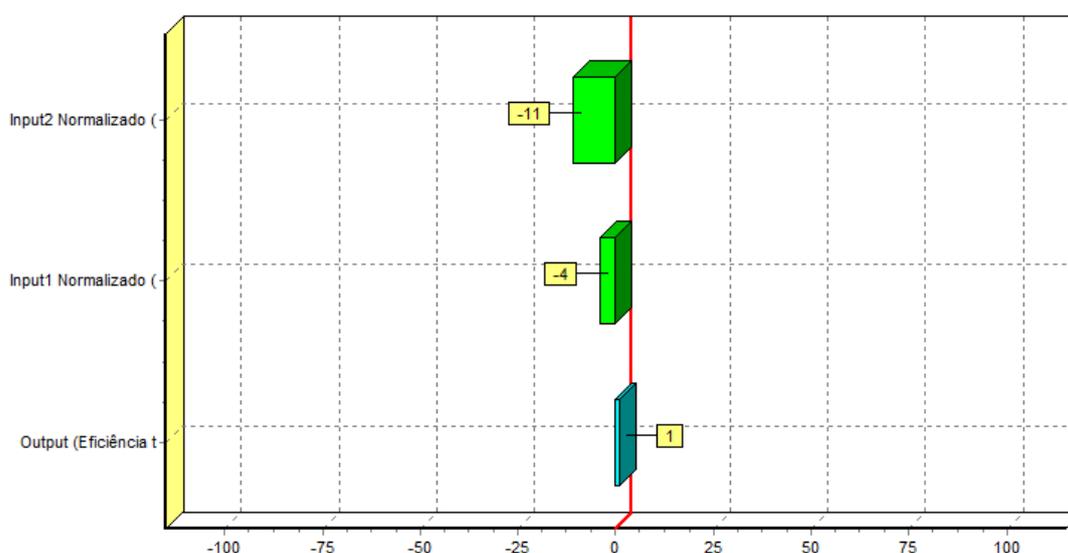


Gráfico 6.5 - *Potential Improvements* da caldeira do Fabricante 3 modelo VSH-780 movida a óleo diesel

O Exemplo ilustrado no Gráfico 6.5 é de uma caldeira do Fabricante 3, modelo VSH-780, movido a óleo diesel. O *score* de eficiência dessa unidade é de 98,9%. Para alcançar a eficiência, ou seja, para elevar o seu *score* para 100%, será necessário um aumento da variável de *output* eficiência térmica em 1% e uma diminuição das variáveis de *input1* (Gasto com consumo de combustível/Energia entregue) e *input2* (Emissão de CO<sub>2</sub>/Energia entregue) em, respectivamente, 4% e 11%.

A Tabela 6.25 apresenta, de forma mais detalhada, todas as informações necessárias para se elaborar o Gráfico 6.5 (os valores de *input/output* atuais das unidades, os valores de *input/output* que devem ser alcançados pelas unidades para se tornarem eficientes e a diferença percentual desses valores).

Tabela 6.25- Tabelas de *Potential Improvements* com informações mais detalhadas

		<b>Actual</b>	<b>Target</b>	<b>Potential Improvement</b>
<b>Inputs</b>	Input2 Normalizado (Emissão de CO2/Energia entregue)	0,71	0,63	-11,12
	Input1 Normalizado (Gasto c/ consumo de comb./Energia entregue)	0,26	0,25	-4,76
<b>Outputs</b>	Output (Eficiência térmica)	0,9	0,91	1,1

Para alcançar a eficiência da caldeira do fabricante 3, modelo VSH-780, movida a óleo diesel, o *input* 1 deve diminuir de 0,26 (*actual*) para 0,25 (*target*), e o *input* 2 deve diminuir de 0,71 (*actual*) para 0,63 (*target*). A distância percentual de 4,76% (*potencial improvement*) representa a meta a ser alcançada, nesse caso a diminuição a ser atingida.

A Tabela 6.26 apresenta um resumo de todas as alterações necessárias nas variáveis de *input* e *output* das unidades ineficientes. Ademais, pode ser visualizado, na Tabela 6.26, que as unidades consideradas eficientes (Fabricante2/CGV-30/GN, Fabricante3/VSH-5000/GN, Fabricante1/M3P-15/GN, Fabricante1/M3P-20/GLP) dispensam qualquer alteração.

Tabela 6.26 – Resumo de *Potential Improvements* de todas as caldeiras consideradas no processamento da ferramenta DEA

Unit name	Score	RTS	Actual Input1 Normalizado (Gasto c/ consumo de comb./Energia entregue)	Actual Input2 Normalizado (Emissão de CO2/Energia entregue)	Actual Output (Eficiência térmica)	Target Input1 Normalizado (Gasto c/ consumo de comb./Energia entregue)	Target Input2 Normalizado (Emissão de CO2/Energia entregue)	Target Output (Eficiência térmica)	Percent Input1 Normalizado (Gasto c/ consumo de comb./Energia entregue)	Percent Input2 Normalizado (Emissão de CO2/Energia entregue)	Percent Output (Eficiência térmica)
Fabricante2/CGV-30/GN	100	0	0,29	0,52	0,87	0,29	0,52	0,87	0	0	0
Fabricante3/VSH-5000/GN	100	0	0,29	0,53	0,9	0,29	0,53	0,9	0	0	0
Fabricante1/M3P-15/GN	100	0	0,3	0,55	0,91	0,3	0,55	0,91	0	0	0
Fabricante1/M3P-20/GLP	100	0	0,25	0,63	0,91	0,25	0,63	0,91	0	0	0
Fabricante1/M3P-20/GN	99,98	1	0,3	0,55	0,91	0,3	0,55	0,91	0	0	0
Fabricante3/VSH-780/GN	99,95	1	0,29	0,53	0,9	0,29	0,53	0,9	0	0	0
Fabricante1/M3P-15/GLP	99,9	1	0,25	0,63	0,91	0,25	0,63	0,91	0	0	0,1
Fabricante3/VSH-3000/GN	99,74	-1	0,29	0,53	0,9	0,29	0,53	0,9	0	0	0,3
Fabricante3/VSH-3000/Oleo1A	99,41	1	0,28	0,8	0,9	0,25	0,63	0,91	-11,6	-21,4	0,6
Fabricante1/M3P-10/GLP	99,38	1	0,25	0,63	0,9	0,25	0,63	0,91	0	0	0,6
Fabricante1/M3P-10/GN	99,28	1	0,3	0,55	0,9	0,3	0,55	0,91	0	0	0,7
Fabricante3/VSH-5000/GLP	99,26	1	0,25	0,63	0,9	0,25	0,63	0,91	-0,2	-0,2	0,7
Fabricante3/VSH-5000/Oleo1A	99,13	1	0,28	0,8	0,9	0,25	0,63	0,91	-11,6	-21	0,9
Fabricante3/VSH-5000/OleoDiesel	99,09	1	0,26	0,71	0,9	0,25	0,63	0,91	-4,8	-11,1	0,9
Fabricante3/VSH-3000/OleoDiesel	99,09	1	0,26	0,71	0,9	0,25	0,63	0,91	-4,8	-11,1	0,9
Fabricante3/VSH-780/Oleo1A	99,05	1	0,28	0,8	0,9	0,25	0,63	0,91	-11,6	-21	1
Fabricante3/VSH-3000/GLP	98,95	1	0,25	0,63	0,9	0,25	0,63	0,91	-0,2	-0,2	1,1
Fabricante3/VSH-780/OleoDiesel	98,91	1	0,26	0,71	0,9	0,25	0,63	0,91	-4,8	-11,1	1,1
Fabricante3/VSH-780/GLP	98,12	1	0,25	0,63	0,89	0,25	0,63	0,91	-0,2	-0,2	1,9
Fabricante1/M3P-20/OleoDiesel	97,4	1	0,27	0,81	0,88	0,25	0,63	0,91	-6,9	-21,8	2,7
Fabricante1/M3P-15/OleoDiesel	97,38	1	0,27	0,81	0,88	0,25	0,63	0,91	-6,9	-21,8	2,7
Fabricante1/M3P-20/Oleo1A	97,1	1	0,28	0,8	0,88	0,25	0,63	0,91	-11,6	-21,4	3
Fabricante1/M3P-15/Oleo1A	97,01	1	0,28	0,8	0,88	0,25	0,63	0,91	-11,6	-21	3,1

(Continua)

(Continuação)

Unit name	Score	RTS	Actual Input1	Actual Input2	Actual Output	Target Input1	Target Input2	Target Output	Percent Input1	Percent Input2	Percent Output
Fabricante1/M3P-10/OleoDiesel	96,65	1	0,27	0,81	0,88	0,25	0,63	0,91	-6,9	-21,8	3,5
Fabricante1/M3P-10/Oleo1A	96,45	1	0,28	0,8	0,88	0,25	0,63	0,91	-11,6	-21	3,7
Fabricante2/CGV-30/OleoDiesel	96,34	1	0,32	0,87	0,87	0,25	0,63	0,91	-22,4	-27,6	3,8
Fabricante2/CGV-400/GN	94,14	-1	0,29	0,52	0,82	0,29	0,52	0,87	0	0	6,2
Fabricante2/CGV-150/GN	91,34	-1	0,29	0,52	0,79	0,29	0,52	0,87	0	0	9,5
Fabricante2/CGV-30/GLP	91,04	1	0,25	0,63	0,83	0,25	0,63	0,91	-0,2	-0,2	9,8
Fabricante2/CGV-400/OleoDiesel	90,49	1	0,32	0,87	0,82	0,25	0,63	0,91	-22,4	-27,6	10,5
Fabricante2/CGV-150/OleoDiesel	89,23	1	0,32	0,87	0,81	0,25	0,63	0,91	-22,4	-27,6	12,1
Fabricante2/CGV-400/GLP	85,74	1	0,25	0,63	0,78	0,25	0,63	0,91	-0,2	-0,2	16,6
Fabricante1/FAM10/Lenha	85,21	1	1	0,96	0,77	0,25	0,63	0,91	-75,1	-34,1	17,4
Fabricante1/FAM15/Lenha	85,19	1	1	0,96	0,77	0,25	0,63	0,91	-75,1	-34,1	17,4
Fabricante1/FAM20/Lenha	85,18	1	1	0,96	0,77	0,25	0,63	0,91	-75,1	-34,1	17,4
Fabricante2/CGV-150/GLP	83,16	1	0,25	0,63	0,75	0,25	0,63	0,91	-0,2	-0,2	20,2
Fabricante2/CGV-30/CarvaoVegetal	74,62	1	0,37	1	0,68	0,25	0,63	0,91	-32	-36,9	34
Fabricante2/CGV-150/CarvaoVegetal	74,18	1	0,37	1	0,67	0,25	0,63	0,91	-32	-36,9	34,8
Fabricante2/CGV-400/CarvaoVegetal	74,02	1	0,37	0,99	0,67	0,25	0,63	0,91	-32	-36,2	35,1
Fabricante1/FAM20/CavacodePinus	68,96	1	1	0,96	0,63	0,25	0,63	0,91	-75,1	-34,1	45
Fabricante1/FAM10/CavacodePinus	68,96	1	1	0,96	0,63	0,25	0,63	0,91	-75,1	-34,1	45
Fabricante2/CGV-30/Lenha	68,82	1	0,79	0,75	0,62	0,25	0,63	0,91	-68,3	-16,1	45,3
Fabricante2/CGV-150/Lenha	68,82	1	0,79	0,75	0,62	0,25	0,63	0,91	-68,3	-16,1	45,3
Fabricante2/CGV-400/Lenha	68,71	1	0,79	0,75	0,62	0,25	0,63	0,91	-68,3	-16,1	45,5
Fabricante1/FAM15/CavacodePinus	63,89	1	1	0,96	0,58	0,25	0,63	0,91	-75,1	-34,1	56,5

### 6.3.4 Reference Comparison

O gráfico *Reference Comparison* apresenta comparações de uma unidade ineficiente com as unidades de referência. O termo unidade de referência é utilizado aqui como qualquer unidade eficiente com o qual a unidade em análise tem sido diretamente comparada, no momento do cálculo dos seus índices de eficiência. Vale ressaltar que pode existir mais de uma unidade de referência (normalmente, de 1 a 5 unidades).

O gráfico *Reference Comparison* apresenta diversas barras de *input* e *output* para representar a unidade ineficiente em comparação e a unidade de referência. Os valores da unidade ineficiente são apresentados em barras azuis, e sempre dimensionados para 100% para que a comparação seja mais evidente. Com isso, é possível identificar, em percentual, quanto a unidade de referência teve a mais ou a menos de cada *input* e de *output*. A unidade de referência é mostrada por meio de barras vermelhas.

A seguir, são mostradas as 45 unidades de caldeiras inseridas na DEA com os seus respectivos gráficos de *Reference Comparison*.

#### - Fabricante1/M3P-10/OleoDiesel

Unidades de referência: Fabricante1/M3P-20/GLP

Quando a unidade Fabricante1/M3P-10/ÓleoDiesel foi comparada com a unidade Fabricante1/M3P-20/GLP (unidade de referência), concluiu-se que a última possui um nível de emissão 22% menor, um gasto com consumo de combustível 7% menor e uma eficiência térmica 3% maior. Essa situação pode ser visualizada por meio do Gráfico 6.6.

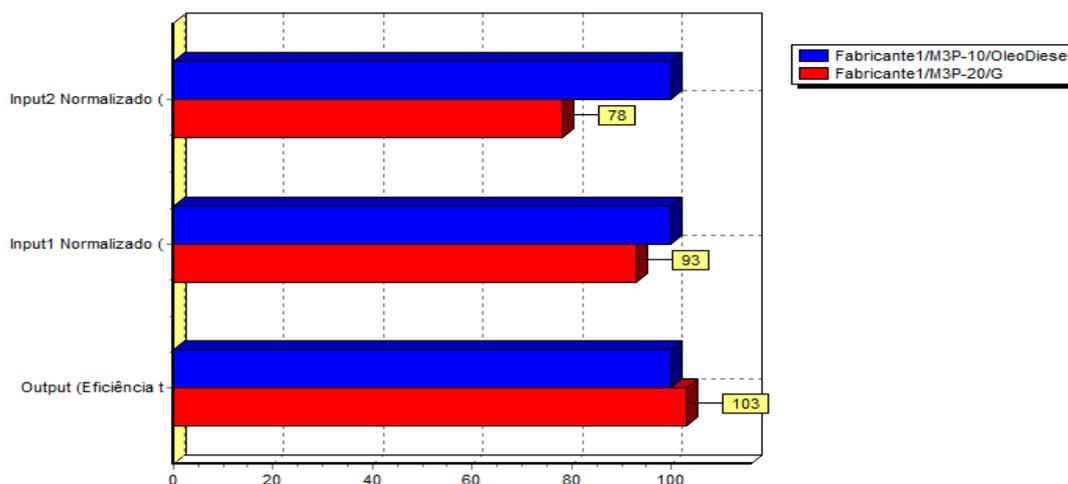


Gráfico 6.6 – Reference comparison: Fabricante1/M3P-10/Óleo Diesel e Fabricante1/M3P-20/GLP

Quando comparamos todas as unidades ineficientes com as suas respectivas unidades de referência, percebemos que, de um modo geral, as caldeiras classificadas como eficientes, para serem inseridas no grupo de unidades eficientes, emitiram um menor nível de  $\text{CO}_2$ , tiveram um menor gasto com consumo de combustível e possuíram uma eficiência térmica mais elevada. É importante ressaltar que, nas unidades ineficientes, se alguma das variáveis (*input* ou *output*) estiver no seu valor ideal (patamar de eficiência), não será apresentada nenhuma diferença entre a variável da unidade eficiente

Os gráficos *Reference Comparison* das demais unidades ineficientes podem ser visualizados no APÊNDICE C. Vale ressaltar que foi obtidos um total de 50 gráficos do tipo *Reference Comparison*. Lembrando que existem unidades ineficientes com mais de uma unidade de referência e, além disso, que não são incluídos gráficos de unidades eficientes por não existirem unidades de referência para essas unidades.

### 6.3.5 *Input/Output contributions*

Esta é uma indicação útil de quais *inputs* e *outputs* têm sido usados na determinação da eficiência, e quais têm sido ignoradas.

A contribuição de cada *input* para o alcance de determinado nível de *output* é também uma das análises feitas pela DEA, onde é demonstrada a margem de contribuição de cada *input* em relação ao *output* utilizado na análise, ou seja, demonstra o quanto cada variável de *input* influenciou para o *output*.

A seguir, serão analisados os resultados dos gráficos *Input/Output Contributions*, inicialmente das caldeiras eficientes e, posteriormente, das caldeiras classificadas como ineficientes.

Das 45 DMUs (caldeiras) que constituíram a amostra para a análise DEA, 4 foram consideradas eficientes. São elas: Fabricante2/CGV-30/GN, Fabricante3/VSH-5000/GN, Fabricante1/M3P-15/GN e Fabricante1/M3P-20/GLP.

Nas unidades Fabricante2/CGV-30/GN, Fabricante3/VSH-5000/GN e Fabricante1/M3P-15/GN, o *input 2* (emissão de CO<sub>2</sub>/energia entregue) contribuiu 100% com o alcance da eficiência. Essa situação pode ser visualizada no Gráfico 6.7, que é idêntico para as 3 unidades eficientes mencionadas.

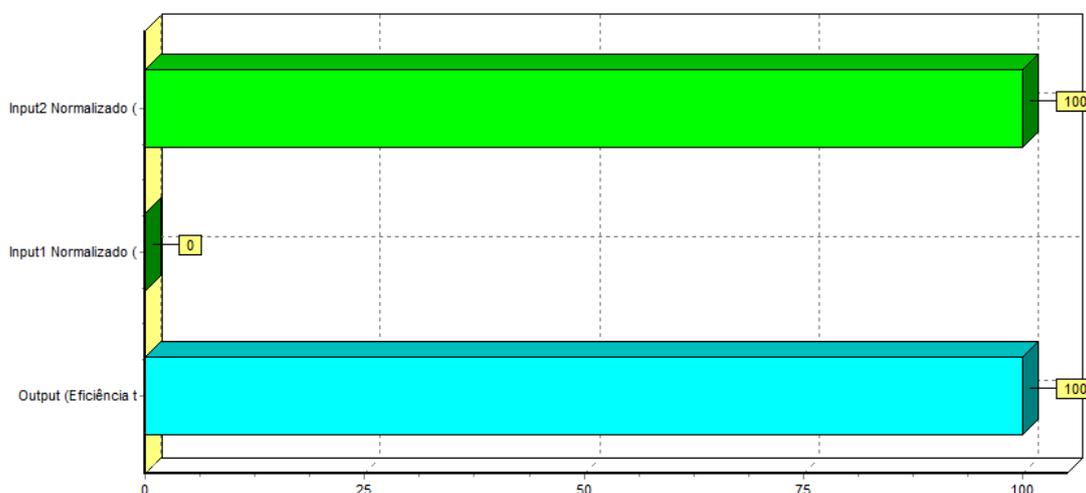


Gráfico 6.7 – Input/Output Contributions: Fabricante2/CGV-30/GN, Fabricante3/VSH-5000/GN e Fabricante1/M3P-15/GN

Na unidade Fabricante1/M3P-20/GLP, a estrutura *input/output contributions* foi diferente das demais unidades eficientes e pôde ser assim definida: o *input1* (gasto com consumo de combustível/energia entregue) contribuiu 28% com o alcance do *score* de eficiência da unidade considerada e o *input2* (emissão de CO<sub>2</sub>/energia entregue) contribuiu 72%. O Gráfico 6.8 ilustra essa situação.

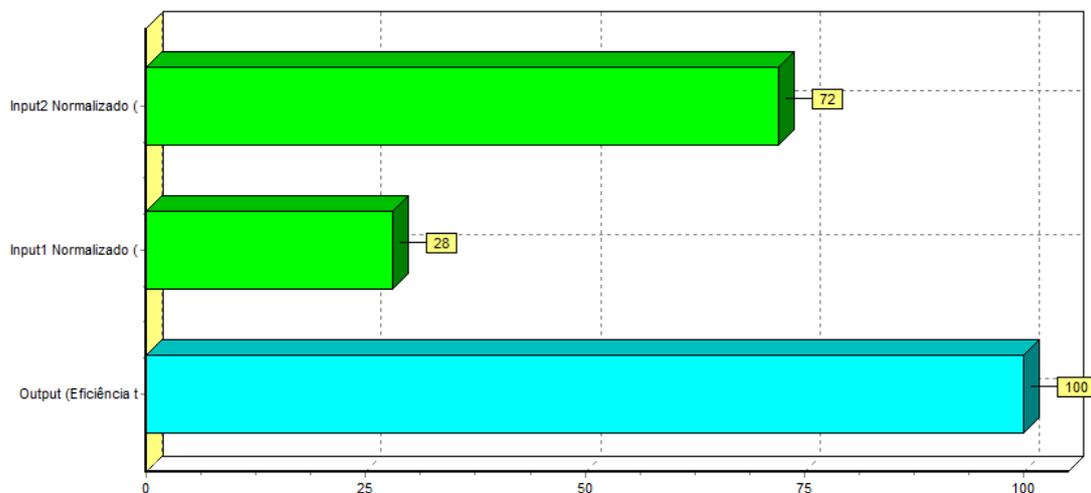


Gráfico 6.8 - Input/Output Contributions: Fabricante1/M3P-20/GLP

Analisando o gráfico *Input/Output Contributions* da unidade Fabricante1/M3P-20/GN, observa-se que o *input2* contribui 100% para o alcance do percentual de eficiência da unidade. Esse percentual de contribuição do *input2* pode ser visualizado no Gráfico 6.9.

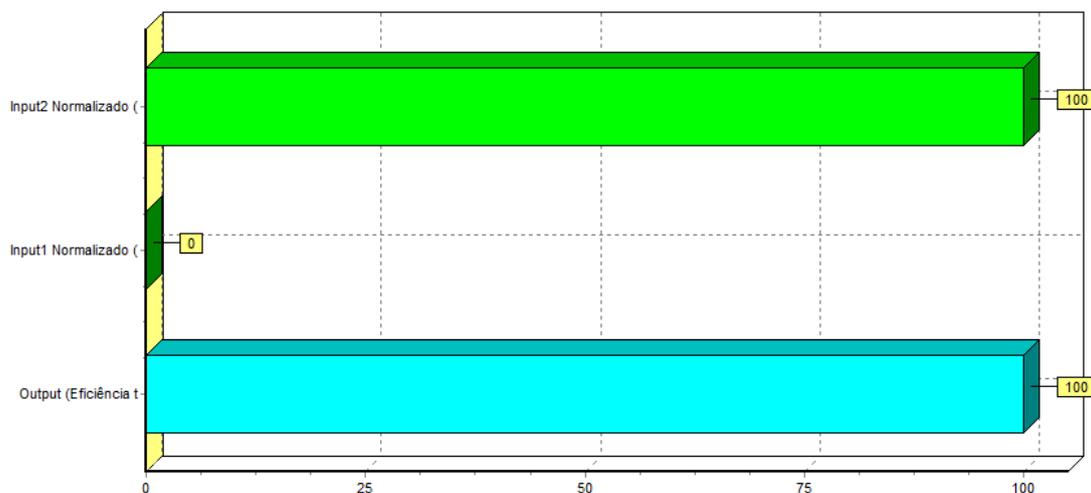


Gráfico 6.9 - Input/Output Contributions: Fabricante1/M3P-20/GN

Para o Fabricante3/VSH-780/GN, os *inputs* 1 e 2 contribuíram, respectivamente, em 46% e 54% com o *score* de eficiência da unidade. Para visualizar essa situação, confira o Gráfico 6.10.

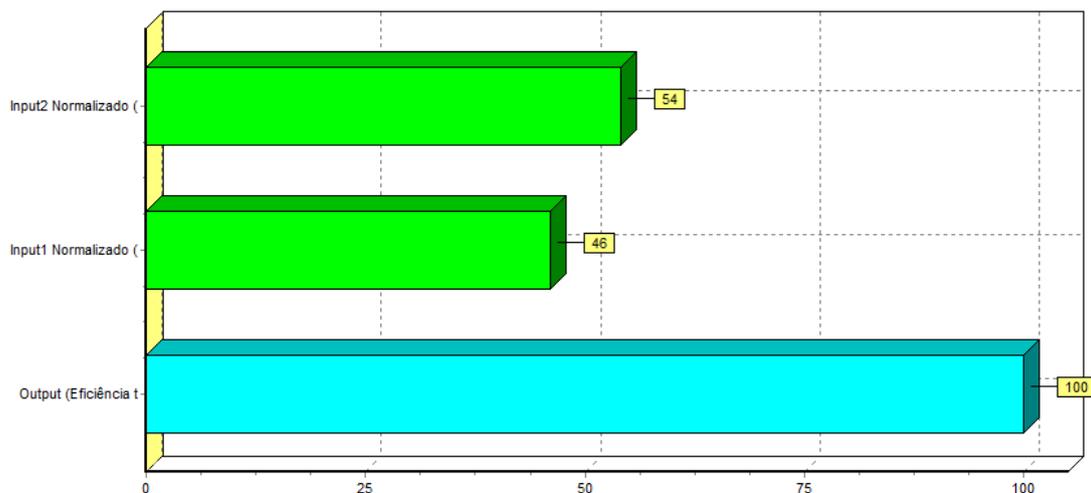


Gráfico 6.10 - Input/Output Contributions: Fabricante3/VSH-780/GN

Para o Fabricante1/M3P-15/GLP, o *input1* contribuiu com 28% para o nível de eficiência. Já o *input2* contribuiu com 72%. O Gráfico 6.11 ilustra essa situação.

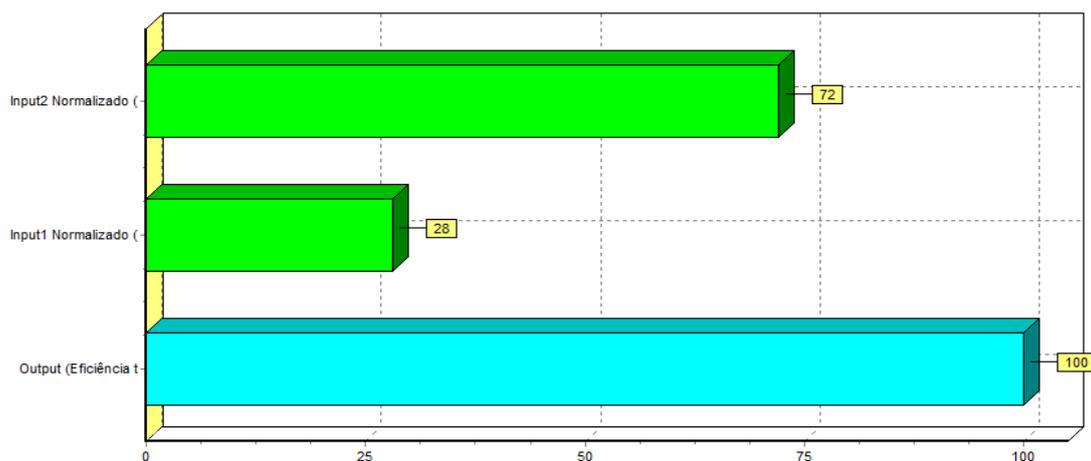


Gráfico 6.11 - Input/Output Contributions: Fabricante1/M3P-15/GLP

O *input2* contribuiu com 100% para a eficiência da unidade Fabricante3/VSH-3000/GN, enquanto *input1* não contribuiu em nada. Isso pode ser comprovado pelo Gráfico 6.12.

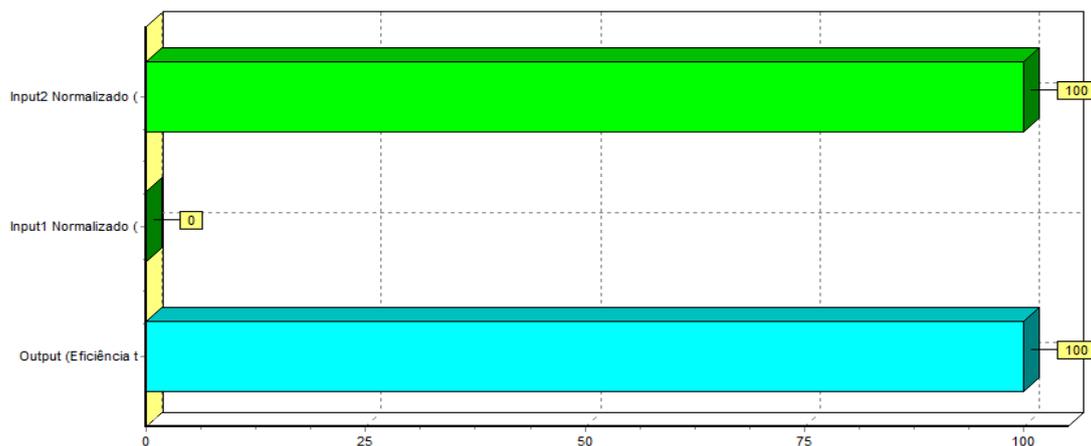


Gráfico 6.12 - Input/Output Contributions: Fabricante3/VSH-3000/GN

Na unidade Fabricante3/VSH-3000/Óleo1A, o *input1* contribuiu com 26% e o *input2* com 74% da eficiência, o que pode ser ilustrado pelo Gráfico 6.13.

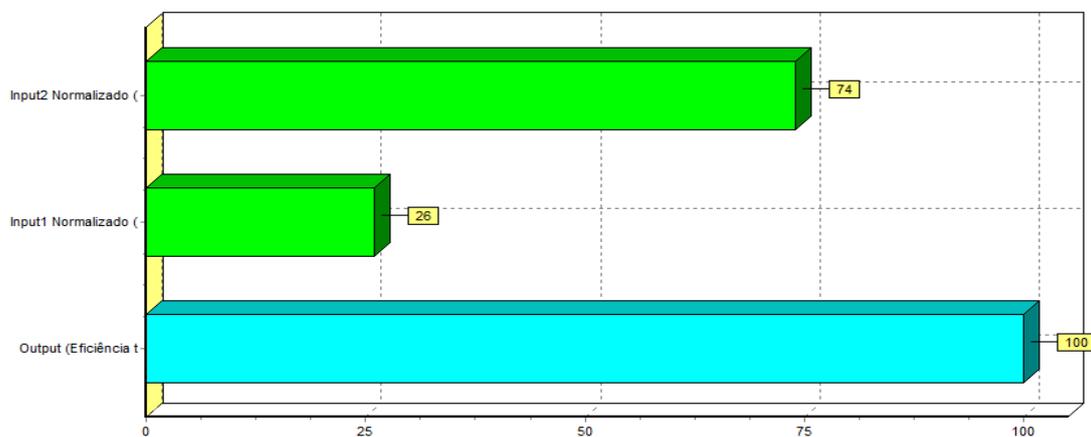


Gráfico 6.13 - Input/Output Contributions: Fabricante3/VSH-3000/Óleo1A

As variáveis de *input1* e a de *input2* contribuíram, respectivamente, com 28% e 72% do *score* de eficiência da unidade Fabricante1/M3P-10/GLP. Para conferir, visualize o Gráfico 6.14.

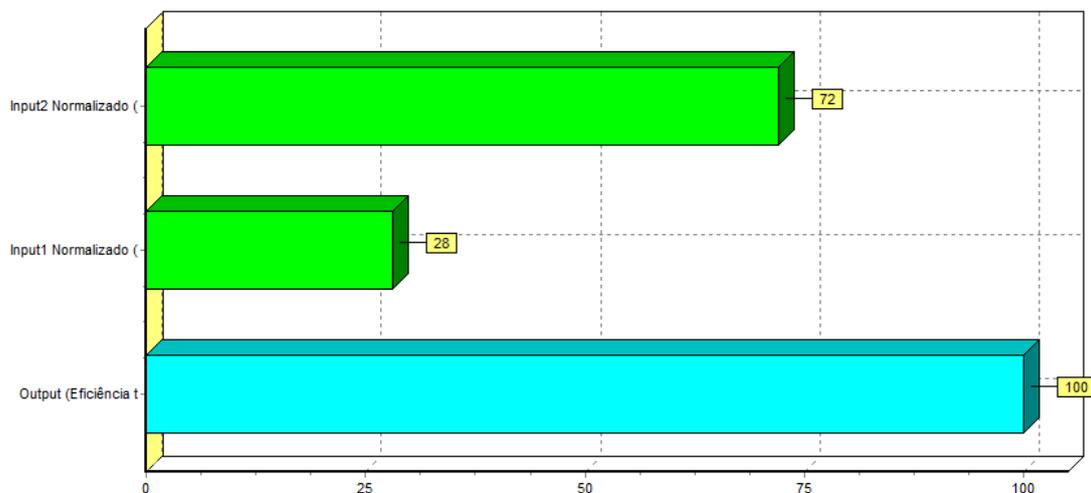


Gráfico 6.14 - Input/Output Contributions: Fabricante1/M3P-10/GLP

Com a análise do Fabricante1/M3P-10/GN, verificou-se que a única variável de *input* que contribuiu com o nível de eficiência da unidade foi a de nível de emissão de CO<sub>2</sub> (*input2*). Verificou-se que esse *input* contribuiu com 100% da eficiência dessa DMU, o que é evidente, já que é a única contribuição de *input*. Vide Gráfico 6.15.

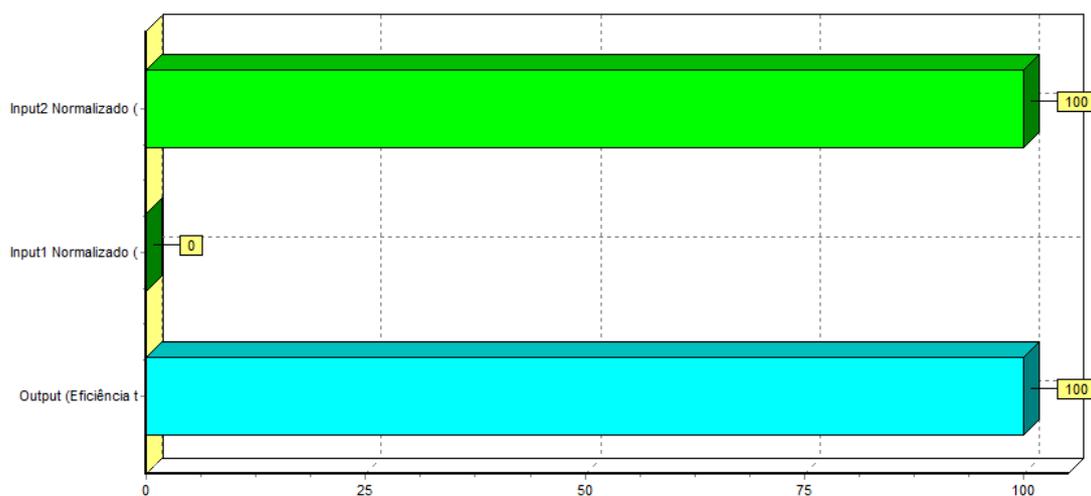


Gráfico 6.15 - Input/Output Contributions: Fabricante1/M3P-10/GN

Para a DMU denominada Fabricante3/VSH-5000/GLP, o *input1* contribuiu com 28% e o *input2* com 72% da eficiência da unidade. Isso pode ser visualizado no Gráfico 6.16.

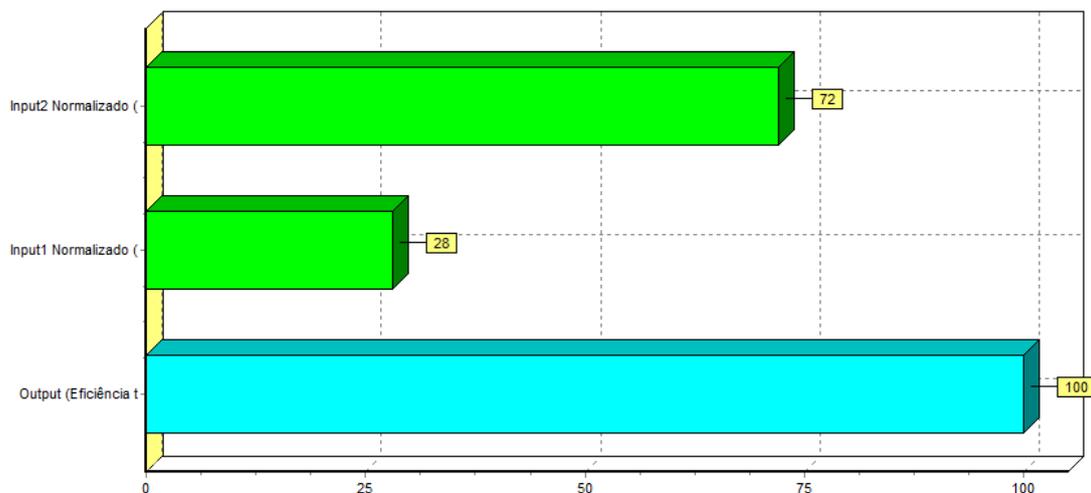


Gráfico 6.16 - Input/Output Contributions: Fabricante3/VSH-5000/GLP

No caso do Fabricante3/VSH-5000/Óleo1A, a variável de *input1* contribuiu com 26% e a variável de *input2* com 74% da eficiência dessa unidade. Para ilustrar o caso, foi apresentado o Gráfico 6.17.

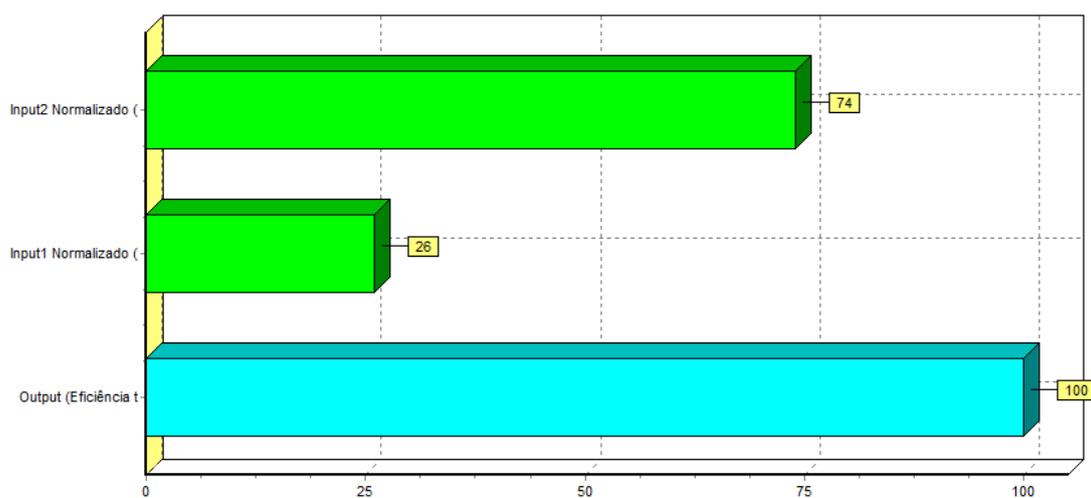


Gráfico 6.17 - Input/Output Contributions: Fabricante3/VSH-5000/Óleo1A

Como verificado no Gráfico 6.18, a unidade Fabricante3/VSH-5000/ÓleoDiesel recebeu uma contribuição de 27% do *input1* e 73% do *input2* para o alcance do seu *score* de eficiência.

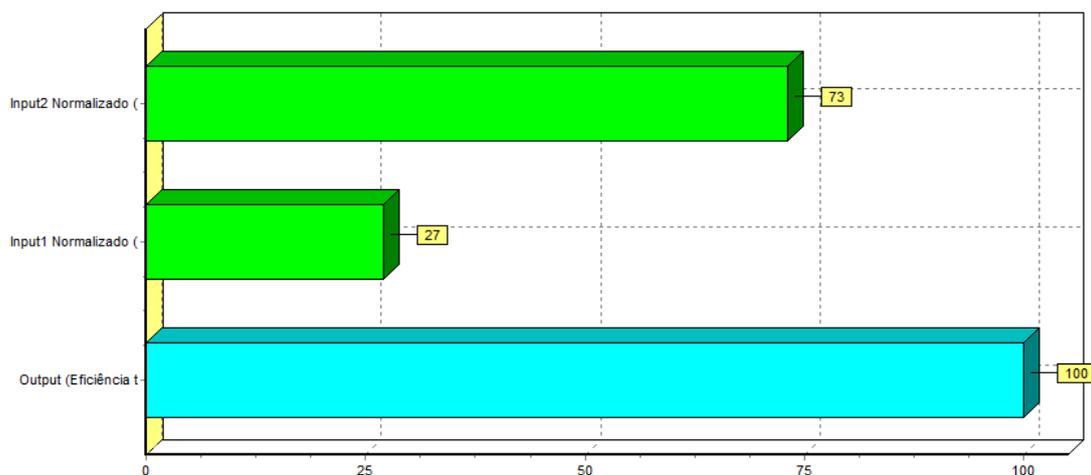


Gráfico 6.18 - Input/Output Contributions: Fabricante3/VSH-5000/ÓleoDiesel

Pelo Gráfico 6.19, é possível perceber que os *input1* e 2 da unidade Fabricante3/VSH-3000/ÓleoDiesel e Fabricante3/VSH-780/Óleo1A tiveram o mesmo percentual de contribuição que a unidade Fabricante3/VSH-5000/ÓleoDiesel.

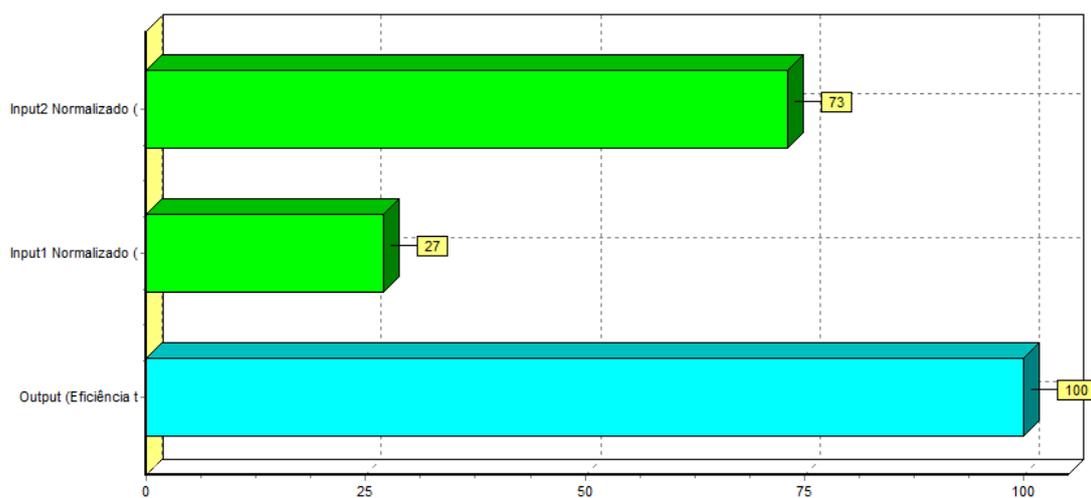


Gráfico 6.19 - Input/Output Contributions: Fabricante3/VSH-3000/ÓleoDiesel e Fabricante3/VSH-780/Óleo1A

O Gráfico 6.20 mostra que o *input1* contribuiu com 28% e o *input2* com 72% do *score* de eficiência da Fabricante3/VSH-3000/GLP.

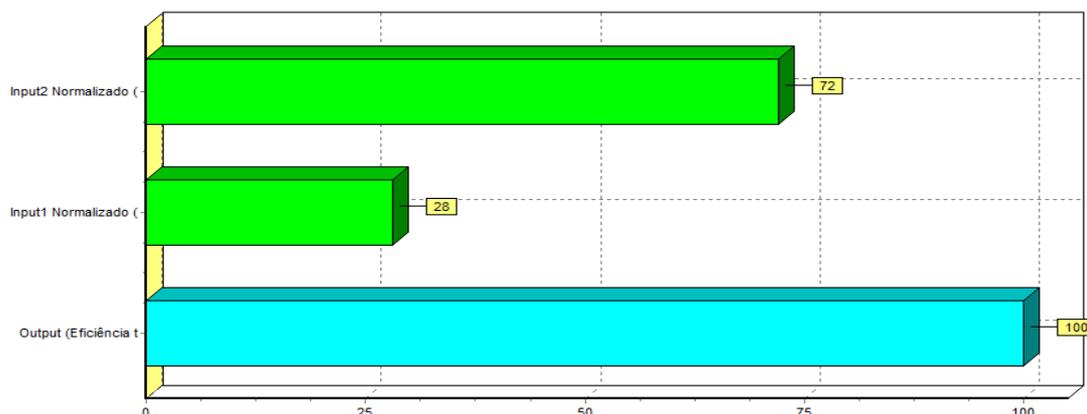


Gráfico 6.20 - Input/Output Contributions: Fabricante3/VSH-3000/GLP

Vale ressaltar que as variáveis de *input1* e 2 das Fabricante3/VSH-780/OleoDiesel, Fabricante3/VSH-780/GLP, Fabricante1/M3P-20/OleoDiesel, Fabricante1/M3P-15/OleoDiesel, Fabricante1/M3P-20/Oleo1A, Fabricante1/M3P-15/Oleo1A, Fabricante1/M3P-10/OleoDiesel, Fabricante1/M3P-10/Oleo1A, Fabricante2/CGV-30/GLP, Fabricante2/CGV-400/OleoDiesel, Fabricante2/CGV-150/OleoDiesel, Fabricante2/CGV-400/GLP, Fabricante2/CGV-150/GLP, Fabricante2/CVG-30/Carvãovegetal, Fabricante2/CGV-150/Carvaovegetal, Fabricante2/CGV-400/Carvaovegetal e Fabricante2/CGV-30/OleoDiesel, mantiveram, aproximadamente, a mesma contribuição para a eficiência das variáveis de *input* da Fabricante3/VSH-3000/GLP.

O Gráfico 6.21 exibe o painel *input/output contributions* da unidade Fabricante2/CGV-400/GN. Pode-se verificar que o *input1* colabora com 57% da eficiência, enquanto o *input2* contribui com 43%. É importante destacar que a unidade da Fabricante2/CGV-150/GN manteve o mesmo percentual de contribuição das variáveis de *input* da Fabricante2/CGV-400/GN.

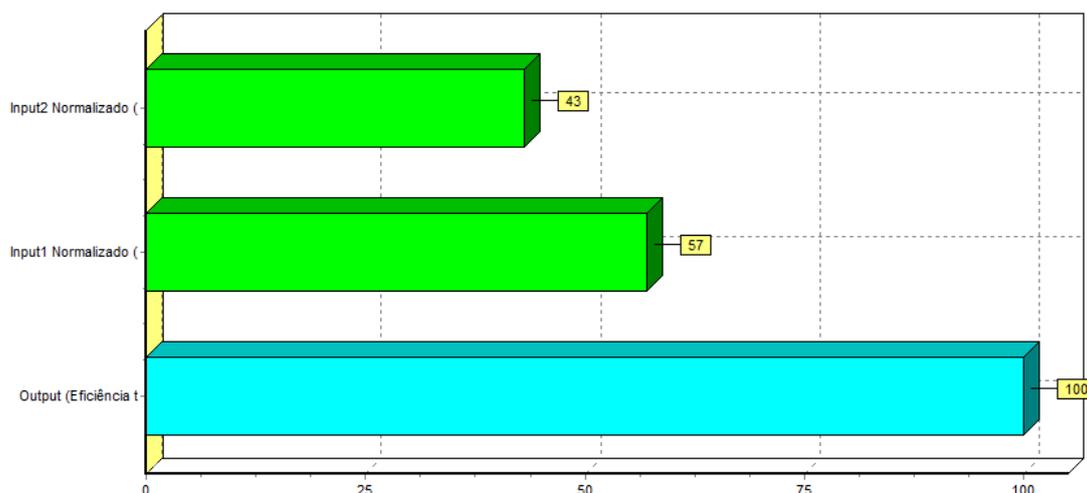


Gráfico 6.21 - Input/Output Contributions: Fabricante2/CGV-400/GN

As contribuições das variáveis de *input1* e 2 da unidade Fabricante1/FAM10/Lenha foram, respectivamente de, 51% e 49%. O Gráfico 6.22 ilustra essas contribuições.

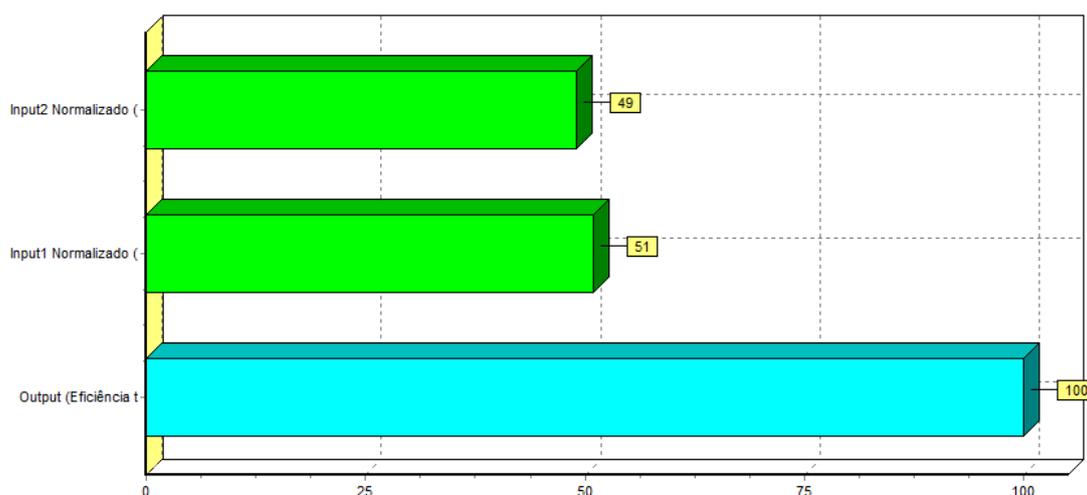


Gráfico 6.22 - Input/Output Contributions: Fabricante1/FAM10/Lenha

As variáveis das unidades Fabricante1/FAM15/Lenha, Fabricante1/FAM20/CavacodePinus, Fabricante1/FAM10/CavacodePinus, Fabricante2/CGV-30/Lenha, Fabricante2/CGV-150/Lenha, Fabricante2/CGV-400/Lenha, Fabricante1/FAM15/CavacodePinus e Fabricante1/FAM20/Lenha mantiveram os mesmos percentuais de contribuição da Fabricante1/FAM10/Lenha.

Todos esses resultados obtidos com a DEA permitiram comparar o desempenho dos equipamentos a GN com o desempenho dos equipamentos que utilizam energéticos considerados substitutos do gás. É importante destacar que alguns modelos de

equipamentos podem ter sido projetados para usar, especialmente, um único energético, mas podem ter passado por algumas adaptações para ampliar as opções de combustíveis a serem utilizados. Diante disso, podem existir modelos com eficiência térmica maior e consumo menor para energéticos específicos. Conclui-se, portanto, que a eficiência produtiva relativa não está exclusivamente relacionada com as características físico-químicas do energético, mas também com as características do equipamento.

#### **6.4 Resultados da análise por envoltória de dados – 2ª. Aplicação (Aquecedores)**

Como mencionado anteriormente, será realizada a análise por envoltória de dados em um conjunto constituído de 35 aquecedores de 3 fabricantes. Cada fabricante apresenta diversos modelos de aquecedores. Para cada modelo, foram selecionados equipamentos que utilizam de 2 a 4 energéticos considerados substitutos do gás natural.

Os resultados serão apresentados por meio de tabelas e gráficos. À medida que são apresentadas as ilustrações, são realizadas as diversas análises.

##### **6.4.1 Efficiency scores**

O *score* de eficiência foi obtido pelo processamento da DEA. No *Frontier Analyst*, é apresentado um resumo geral da eficiência de cada DMU em uma janela denominada *Efficiency scores*. As unidades consideradas eficientes possuem pontuação equivalente a 100.

Foi obtido um *score* classificatório identificando a eficiência técnica de cada DMU analisada. Da mesma forma como foram apresentados os resultados nas caldeiras, decidiu-se obter o *score* de eficiência de todos os 3 fabricantes de aquecedores simultaneamente e, em seguida, também, foi gerado o resultado desse *score* para cada fabricante separadamente. Isso permitiu realizar uma comparação entre fabricantes e entre equipamentos de um mesmo fabricante.

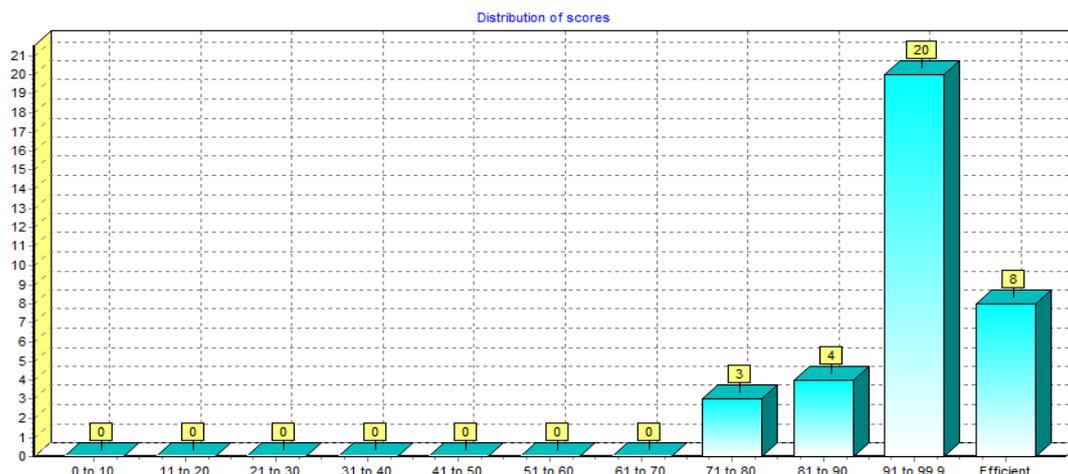
##### **6.4.1.1 Análise do *score* de eficiência dos 3 fabricantes simultaneamente**

A Tabela 6.27 apresenta os *scores* de eficiência para cada DMU (aquecedor) dos 3 fabricantes. Novamente, os *scores* são apresentados em ordem decrescente.

Tabela 6.27 – Scores de eficiência dos aquecedores dos 3 fabricantes

Unit	Score
Fabricante1/ETD-2000/Lenha	100
Fabricante1/ETD-1000/Carvão vegetal	100
Fabricante1/ETD-1000/Lenha	100
<b>Fabricante1/ETD-1500/GN</b>	<b>100</b>
<b>Fabricante2/BMH-2000/GN</b>	<b>100</b>
<b>Fabricante2/BMH-1500/GN</b>	<b>100</b>
<b>Fabricante2/BMH-1000/GN</b>	<b>100</b>
Fabricante1/ETD-2000/Carvão vegetal	100
Fabricante1/ETD-1500/Carvão vegetal	99,95
Fabricante1/ETD-1500/Óleo Diesel	99,95
Fabricante1/ETD-2000/Óleo Diesel	99,95
<b>Fabricante1/ETD-2000/GN</b>	<b>99,93</b>
Fabricante2/BMH-1000/Óleo Diesel	99,91
Fabricante2/BMH-1500/Óleo Diesel	99,91
Fabricante2/BMH-2000/Óleo Diesel	99,91
Fabricante2/BMH-1000/GLP	99,83
Fabricante2/BMH-2000/GLP	99,83
Fabricante2/BMH-1500/GLP	99,83
Fabricante1/ETD-2000/GLP	99,83
Fabricante1/ETD-1500/GLP	99,83
Fabricante1/ETD-1000/GLP	99,83
Fabricante1/ETD-1000/Óleo Diesel	99,83
<b>Fabricante1/ETD-1000/GN</b>	<b>99,8</b>
Fabricante3/1000/30/GLP	97,11
Fabricante1/ETD-1500/Lenha	96,97
Fabricante3/1500/45/GLP	96,14
Fabricante3/3000/80/GLP	96,02
Fabricante3/2000/60/GLP	95,66
<b>Fabricante3/1500/45/GN</b>	<b>90,25</b>
<b>Fabricante3/3000/80/GN</b>	<b>90,25</b>
<b>Fabricante3/2000/60/GN</b>	<b>90,25</b>
<b>Fabricante3/1000/30/GN</b>	<b>90,25</b>
Fabricante2/BMH-1000/Lenha	80,73
Fabricante2/BMH-2000/Lenha	80,73
Fabricante2/BMH-1500/Lenha	79,45

O Gráfico 6.23 apresenta uma visão geral da distribuição dos *scores*, permitindo visualizar rapidamente se a maioria das unidades é ineficiente, aproximadamente eficiente ou está numa posição bem distribuída entre a eficiência e a ineficiência.

Gráfico 6.23 – Distribuição dos *scores*

Como observado no Gráfico 6.23, os *scores* de eficiência dos aquecedores variam entre 71% e 100%. Vale destacar que há um número maior de aquecedores com *score* de eficiência entre 91 e 99,9%.

#### 6.4.1.2 Análise dos *scores* de eficiência de cada fabricante separadamente

As Tabelas 6.28, 6.29 e 6.30 apresentam os *scores* de eficiência dos aquecedores de cada fabricante. Dessa forma, é possível identificar o desempenho do equipamento baseado no energético utilizado. Do mesmo modo como foram apresentados os resultados das caldeiras, os *scores* dos aquecedores são apresentados em ordem decrescente com o intuito de apresentar o desempenho de cada unidade sistematicamente.

Tabela 6.28 – *Scores* de eficiência dos aquecedores do fabricante1

Unit	Score
Fabricante1/ETD-2000/Lenha	100
Fabricante1/ETD-2000/Carvão vegetal	100
Fabricante1/ETD-1000/Carvão vegetal	100
Fabricante1/ETD-1000/Lenha	100
Fabricante1/ETD-1500/Óleo Diesel	100
<b>Fabricante1/ETD-1500/GN</b>	<b>100</b>
Fabricante1/ETD-2000/Óleo Diesel	100
Fabricante1/ETD-1500/Carvão vegetal	99,95
<b>Fabricante1/ETD-2000/GN</b>	<b>99,93</b>
Fabricante1/ETD-2000/GLP	99,88
Fabricante1/ETD-1500/GLP	99,88
Fabricante1/ETD-1000/GLP	99,88
Fabricante1/ETD-1000/Óleo Diesel	99,88
<b>Fabricante1/ETD-1000/GN</b>	<b>99,8</b>
Fabricante1/ETD-1500/Lenha	96,97

Para o modelo ETD-2000, o aquecedor que utiliza a lenha como fonte energética teve maior eficiência produtiva relativa, ou seja, analisando-se os 3 indicadores (nível de emissão, gasto com consumo e eficiência térmica) ao mesmo tempo, o aquecedor com o melhor desempenho foi o que utiliza a lenha como fonte de energia. Para o modelo ETD-1000 do fabricante 1, a DMU que utiliza o carvão vegetal teve a maior eficiência produtiva relativa. Para o modelo ETD-1500, a DMU que utiliza o óleo diesel teve a maior eficiência produtiva relativa.

Tabela 6.29 – Scores de eficiência dos aquecedores do fabricante2

Unit	Score
Fabricante2/BMH-1000/Lenha	100
<b>Fabricante2/BMH-2000/GN</b>	<b>100</b>
<b>Fabricante2/BMH-1500/GN</b>	<b>100</b>
<b>Fabricante2/BMH-1000/GN</b>	<b>100</b>
Fabricante2/BMH-2000/Lenha	100
Fabricante2/BMH-1000/Óleo Diesel	99,91
Fabricante2/BMH-1500/Óleo Diesel	99,91
Fabricante2/BMH-2000/Óleo Diesel	99,91
Fabricante2/BMH-1000/GLP	99,83
Fabricante2/BMH-2000/GLP	99,83
Fabricante2/BMH-1500/GLP	99,83
Fabricante2/BMH-1500/Lenha	98,41
Fabricante2/BMH-1500/Lenha	98,41

Pela Tabela 6.29, percebe-se que, para o modelo BMH-1000, a lenha teve o melhor desempenho. Enquanto que, para os modelos BMH-1500 e BMH-2000, foi o GN que apresentou o melhor desempenho. Vale destacar, ainda, que no modelo BMH-1000 do fabricante 2, o GN apresentou o segundo melhor desempenho.

Tabela 6.30 – Scores de eficiência dos aquecedores do fabricante3

Unit	Score
<b>Fabricante3/1500/45/GN</b>	<b>100</b>
Fabricante3/1000/30/GLP	100
<b>Fabricante3/3000/80/GN</b>	<b>100</b>
<b>Fabricante3/2000/60/GN</b>	<b>100</b>
<b>Fabricante3/1000/30/GN</b>	<b>100</b>
Fabricante3/1500/45/GLP	99,01
Fabricante3/3000/80/GLP	98,88
Fabricante3/2000/60/GLP	98,52

Pela Tabela 6.30, percebe-se que os modelos da fabricante 3 utilizavam somente dois energéticos: gás natural e GLP. Os modelos 1500/45, 3000/80 e 2000/60 tiveram maior desempenho com o uso do GN. Já o modelo 1000/30 foi com o uso do GLP.

### 6.4.2 *Potential Improvements*

É importante lembrar que a categoria de resultados *Potential Improvements* apresenta gráficos com as diversas variáveis de input/output ao longo do eixo Y, e o percentual de melhoria potencial ao longo eixo X. O percentual de melhoria para cada *input* e *output* que a unidade precisará ter para tornar-se eficiente é mostrado na forma de gráficos de barras.

Além do gráfico de barras, é possível visualizar as potenciais melhorias por meio de tabelas. As tabelas de *Potential Improvements* apresentam, de forma mais detalhada, os valores *input/output* atuais das unidades (denominados *actual*), os valores de *input/output* que devem ser alcançados pelas unidades para se tornarem eficientes (denominados *target*) e a diferença percentual entre esses valores (denominada *potential improvement*). Essa diferença representa a distância percentual entre a estrutura *input/output* da unidade ineficiente e a estrutura *input/output* da fronteira de eficiência.

O Gráfico 6.24 ilustra as *Potential Improvements* de uma unidade eficiente de aquecedor, e a Tabela 6.31 apresenta, de forma mais detalhada, todas as informações contidas por trás do Gráfico 6.24 (os valores de *input/output* atuais das unidades, os valores de *input/output* que devem ser alcançados pelas unidades para se tornarem eficientes e a diferença percentual desses valores).

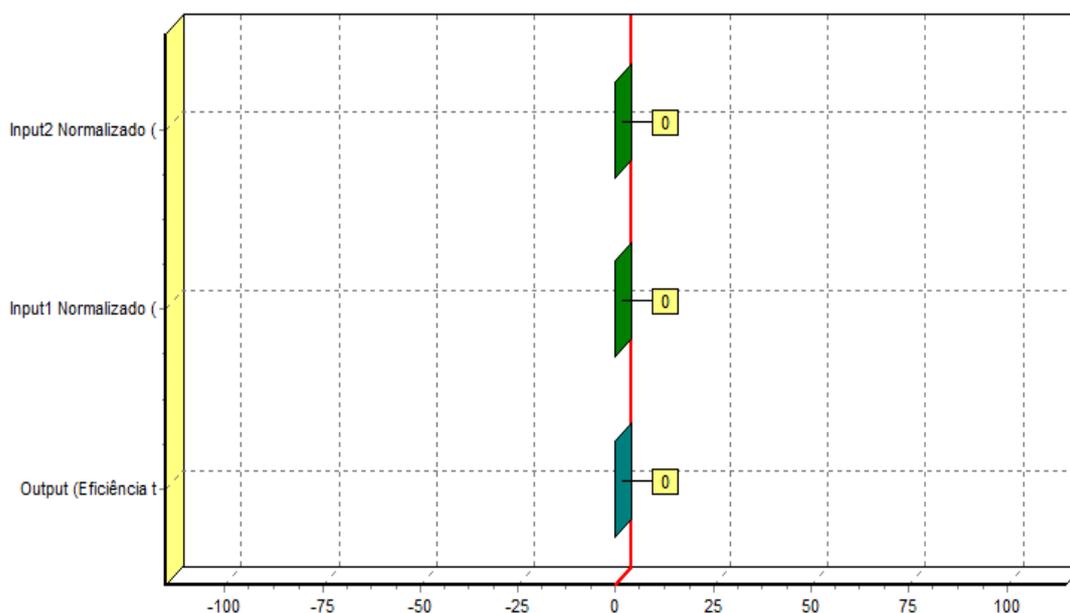


Gráfico 6.24 - *Potential Improvements* do aquecedor do Fabricante1 modelo ETD-2000 utilizando lenha como fonte energética

Como se trata de uma unidade eficiente de aquecedor, não será necessário maximizar e nem minimizar nenhuma variável de output e nem de input.

Tabela 6.31- Tabelas de *Potential Improvements* com informações mais detalhadas

		Actual	Target	Potential Improvement
<b>Inputs</b>	Input2 Normalizado (Emissão de CO2/Energia entregue)	0,52	0,52	0
	Input1 Normalizado (Gasto c/ consumo de comb./Energia entregue)	0,20	0,20	0
<b>Outputs</b>	Output (Eficiência térmica)	0,78	0,78	0

O Gráfico 6.25 apresenta dados de *Potential Improvements* de uma unidade de aquecedor ineficiente.

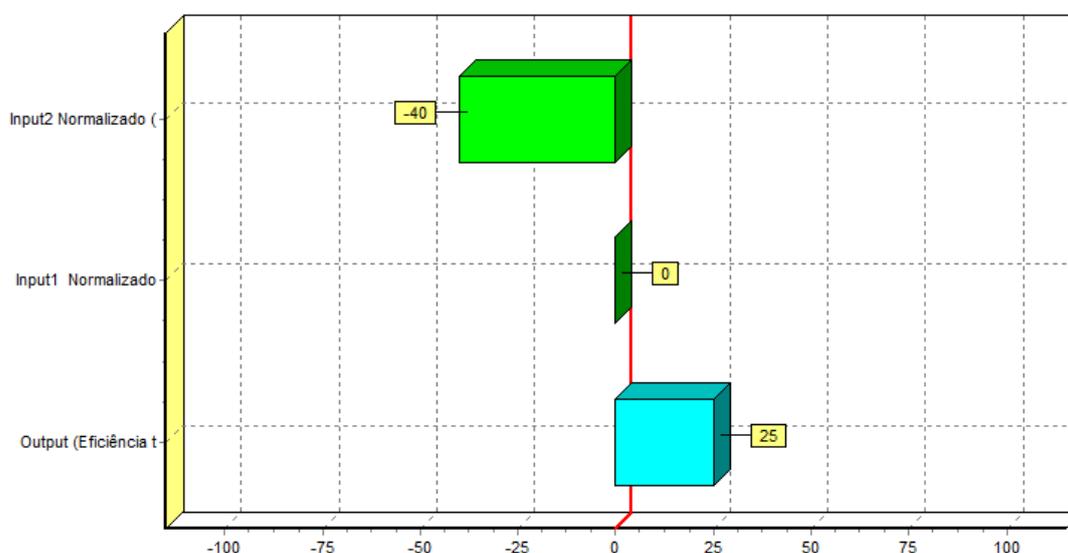


Gráfico 6.25 - *Potential Improvements* do aquecedor do Fabricante2, modelo BMH-1500, utilizando a lenha como energético

O exemplo ilustrado no Gráfico 6.25 é de um aquecedor do Fabricante2, modelo BMH-1500, movido a lenha. O *score* de eficiência dessa unidade é de 79,4%. Para alcançar a eficiência, ou seja, para aumentar o seu *score* para 100%, será necessário um aumento da variável de *output* eficiência térmica em 25% e uma diminuição da variável *input* 2 (Emissão de CO<sub>2</sub>/Energia entregue) em 40%

A Tabela 6.32 apresenta, de forma mais detalhada, todas as informações contidas no Gráfico 6.25 (os valores de *input/output* atuais das unidades, os valores de *input/output* que devem ser alcançados pelas unidades para se tornarem eficientes e a diferença percentual desses valores).

Tabela 6.32- Tabelas de *Potential Improvements* com informações mais detalhadas

		<b>Actual</b>	<b>Target</b>	<b>Potential Improvement</b>
<b>Inputs</b>	Input2 Normalizado (Emissão de CO <sub>2</sub> /Energia entregue)	0,88	0,52	-40,89
	Input1 Normalizado (Gasto c/ consumo de comb./Energia entregue)	0,24	0,24	0
<b>Outputs</b>	Output (Eficiência térmica)	0,63	0,80	25,87

Para alcançar a eficiência, o *input* 1 deve manter o mesmo valor, o *input* 2 deve diminuir de 0,88 (*actual*) para 0,52 (*target*) e o *output* aumentar 0,63 (*actual*) para 0,80 (*target*). A distância percentual de 40,89% (potencial improvement) para o *input* 2 representa a meta a ser alcançada, nesse caso a diminuição a ser atingida.

A Tabela 6.33 apresenta um resumo de todas as alterações necessárias nas variáveis de *input* e *output* das unidades ineficientes. Ademais, pode ser visualizado na Tabela 6.33 que as unidades consideradas eficientes (Fabricante1/ETD-2000/Lenha, Fabricante1/ETD-1000/Carvão vegetal, Fabricante1/ETD-1000/Lenha, Fabricante1/ETD-1500/GN, Fabricante2/BMH-2000/GN, Fabricante2/BMH-1500/GN, Fabricante2/BMH-1000/GN, Fabricante1/ETD-2000/Carvão vegetal) dispensam qualquer alteração.

Tabela 6.33 – Resumo de *Potential Improvements* de todos os aquecedores considerados no processamento da ferramenta DEA

Unit name	Score	RTS	Actual Input1	Actual Input2	Actual Output (Eficiência térmica)	Target Input1	Target Input2	Target Output (Eficiência térmica)	Percent Input1	Percent Input2	Percent Output (Eficiência térmica)
			Normalizado (Gasto c/ consumo de comb.em R\$/Energia entregue em kJ/h)	Normalizado (Emissão de CO2 em ton./Energia entregue em kJ/h)		Normalizado (Gasto c/ consumo de comb.em R\$/Energia entregue em kJ/h)	Normalizado (Emissão de CO2 em ton./Energia entregue em kJ/h)		Normalizado (Gasto c/ consumo de comb.em R\$/Energia entregue em kJ/h)	Normalizado (Emissão de CO2 em ton./Energia entregue em kJ/h)	
Fabricante1/ETD-2000/Lenha	100	0	0,2	0,52	0,78	0,2	0,52	0,78	0	0	0
Fabricante1/ETD-1000/Carvão vegetal	100	0	0,18	1	0,75	0,18	1	0,75	0	0	0
Fabricante1/ETD-1000/Lenha	100	0	0,2	0,52	0,79	0,2	0,52	0,79	0	0	0
Fabricante1/ETD-1500/GN	100	0	0,57	0,52	0,85	0,57	0,52	0,85	0	0	0
Fabricante2/BMH-2000/GN	100	0	0,58	0,53	0,85	0,58	0,53	0,85	0	0	0
Fabricante2/BMH-1500/GN	100	0	0,58	0,53	0,85	0,58	0,53	0,85	0	0	0
Fabricante2/BMH-1000/GN	100	0	0,58	0,53	0,85	0,58	0,53	0,85	0	0	0
Fabricante1/ETD-2000/Carvão vegetal	100	0	0,18	1	0,75	0,18	1	0,75	0	0	0
Fabricante1/ETD-1500/Carvão vegetal	99,95	1	0,18	1	0,75	0,18	1	0,75	0	0	0
Fabricante1/ETD-1500/Óleo Diesel	99,95	1	0,88	0,87	0,85	0,58	0,53	0,85	-35	-39,5	0,1
Fabricante1/ETD-2000/Óleo Diesel	99,95	1	0,88	0,87	0,85	0,58	0,53	0,85	-35	-39,5	0,1
Fabricante1/ETD-2000/GN	99,93	1	0,57	0,52	0,85	0,57	0,52	0,85	0	0	0,1
Fabricante2/BMH-1000/Óleo Diesel	99,91	1	0,72	0,71	0,85	0,58	0,53	0,85	-20,1	-25,8	0,1
Fabricante2/BMH-1500/Óleo Diesel	99,91	1	0,72	0,71	0,85	0,58	0,53	0,85	-20,1	-25,8	0,1
Fabricante2/BMH-2000/Óleo Diesel	99,91	1	0,72	0,71	0,85	0,58	0,53	0,85	-20,1	-25,8	0,1
Fabricante2/BMH-1000/GLP	99,83	1	1	0,58	0,85	0,58	0,53	0,85	-42,5	-8,9	0,2
Fabricante2/BMH-2000/GLP	99,83	1	1	0,63	0,85	0,58	0,53	0,85	-42,5	-16,7	0,2
Fabricante2/BMH-1500/GLP	99,83	1	1	0,63	0,85	0,58	0,53	0,85	-42,5	-16,7	0,2
Fabricante1/ETD-2000/GLP	99,83	1	1	0,63	0,85	0,58	0,53	0,85	-42,5	-16,7	0,2
Fabricante1/ETD-1500/GLP	99,83	1	1	0,63	0,85	0,58	0,53	0,85	-42,5	-16,7	0,2
Fabricante1/ETD-1000/GLP	99,83	1	1	0,63	0,85	0,58	0,53	0,85	-42,5	-16,7	0,2
Fabricante1/ETD-1000/Óleo Diesel	99,83	1	0,88	0,87	0,85	0,58	0,53	0,85	-35	-39,6	0,2

(Continua)

(Continuação)

<b>Unit name</b>	<b>Score</b>	<b>RTS</b>	<b>Actual Input 1</b>	<b>Actual Input 2</b>	<b>Actual Output</b>	<b>Target Input1</b>	<b>Target Input2</b>	<b>Target Output</b>	<b>Percent Input1</b>	<b>Percent Input2</b>	<b>Percent Output</b>
Fabricante1/ETD-1000/GN	99,8	1	0,57	0,52	0,85	0,57	0,52	0,85	0	0	0,2
Fabricante3/1000/30/GLP	97,11	1	1	0,63	0,83	0,58	0,53	0,85	-42,5	-16,7	3
Fabricante1/ETD-1500/Lenha	96,97	1	0,2	0,52	0,77	0,2	0,52	0,79	0	0	3,1
Fabricante3/1500/45/GLP	96,14	1	1	0,63	0,82	0,58	0,53	0,85	-42,5	-16,7	4
Fabricante3/3000/80/GLP	96,02	1	1	0,63	0,82	0,58	0,53	0,85	-42,5	-16,7	4,1
Fabricante3/2000/60/GLP	95,66	1	1	0,63	0,81	0,58	0,53	0,85	-42,5	-16,7	4,5
Fabricante3/1500/45/GN	90,25	1	0,58	0,53	0,77	0,58	0,53	0,85	-1,1	-1,1	10,8
Fabricante3/3000/80/GN	90,25	1	0,58	0,53	0,77	0,58	0,53	0,85	-1,1	-1,1	10,8
Fabricante3/2000/60/GN	90,25	1	0,58	0,53	0,77	0,58	0,53	0,85	-1,1	-1,1	10,8
Fabricante3/1000/30/GN	90,25	1	0,58	0,53	0,77	0,58	0,53	0,85	-1,1	-1,1	10,8
Fabricante2/BMH-1000/Lenha	80,73	1	0,24	0,88	0,65	0,24	0,52	0,8	0	-40,9	23,9
Fabricante2/BMH-2000/Lenha	80,73	1	0,24	0,88	0,65	0,24	0,52	0,8	0	-40,9	23,9
Fabricante2/BMH-1500/Lenha	79,45	1	0,24	0,88	0,63	0,24	0,52	0,8	0	-40,9	25,9

### 6.4.3 Reference Comparison

Como mencionado, o gráfico *Reference Comparison* apresenta comparações de uma unidade ineficiente com as unidades de referência.

É importante lembrar que o gráfico *Reference Comparison* apresenta diversas barras de *input* e *output* para representar a comparação da unidade ineficiente com a unidade de referência. Os valores da unidade ineficiente são apresentados em barras azuis, e sempre dimensionados para 100% para que a comparação seja mais evidente. Com isso, é possível identificar, em percentual, quanto a unidade de referência teve a mais ou a menos de cada *input* e de *output*. A unidade de referência é mostrada por meio de barras vermelhas.

A seguir, é mostrado o gráfico de *Reference Comparison* de uma das 35 unidades de aquecedores inseridas na DEA.

#### - Fabricante1/ETD-1500/Óleo Diesel

Unidades de referência: Fabricante2/BMH-2000/GN

Quando a unidade Fabricante1/ETD-1500/Óleo Diesel foi comparada com a unidade Fabricante2/BMH-2000/GN (unidade de referência), concluiu-se que a última possui um nível de emissão 40% menor, um gasto com consumo de combustível 35% menor e uma eficiência térmica igual. Essa situação pode ser visualizada por meio do Gráfico 6.26.

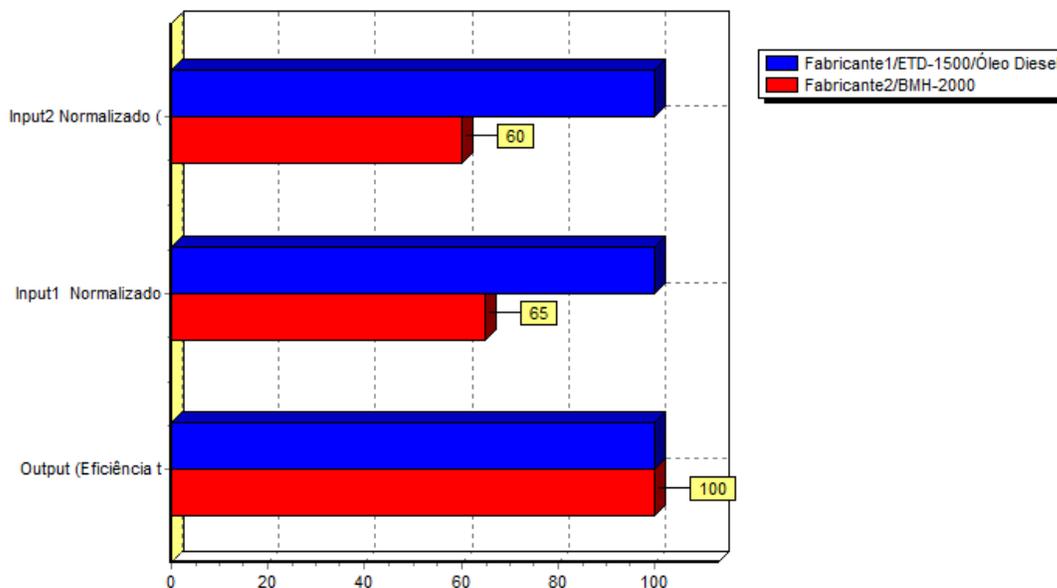


Gráfico 6.26 – Reference comparison: Fabricante1/ETD-1500/Óleo Diesel e Fabricante2/BMH-2000/GN.

Quando comparamos todas as unidades ineficientes com as suas respectivas unidades de referência, percebemos que, de um modo geral, os aquecedores classificados como eficientes, para serem inseridos no grupo de unidades eficientes, emitiram um menor nível de CO<sub>2</sub>, tiveram um menor gasto com consumo de combustível e uma eficiência térmica mais elevada. É importante ressaltar que, nas unidades ineficientes, se alguma das variáveis (input ou *output*) estiver no seu valor ideal (patamar de eficiência), não será apresentada nenhuma diferença em relação à variável da unidade eficiente.

Os gráficos *Reference Comparison* das demais unidades de aquecedores ineficientes podem ser visualizados no APÊNDICE C. Lembrando que existem unidades ineficientes com mais de uma unidade de referência e, além disso, que não são incluídos gráficos de unidades eficientes por não existirem unidades de referência para essas unidades.

#### **6.4.4 Input/Output contributions**

Lembrando que esta é uma indicação útil de quais *inputs* e *outputs* têm sido usados na determinação da eficiência, e quais têm sido ignorados.

A seguir, serão analisados os resultados dos gráficos *Input/Output Contributions* inicialmente das unidades de aquecedores eficientes e, posteriormente, dos aquecedores classificados como ineficientes.

Das 35 DMUs (aquecedores) que constituíram a amostra para a análise DEA, 8 foram consideradas eficientes. São elas: Fabricante1/ETD-2000/Lenha, Fabricante1/ETD-1000/Carvão vegetal, Fabricante1/ETD-1500/GN, Fabricante2/BMH-2000/GN, Fabricante2/BMH-1500/GN, Fabricante2/BMH-1000/GN, Fabricante1/ETD-2000/Carvão vegetal.

Nas unidades Fabricante1/ETD-2000/Lenha e Fabricante1/ETD-1500/GN, o *input* 2 (emissão de CO<sub>2</sub>/energia entregue) contribuiu em 100% com o alcance da eficiência. Essa situação pode ser visualizada no Gráfico 6.27. Esse gráfico é idêntico para as 2 unidades eficientes mencionadas.

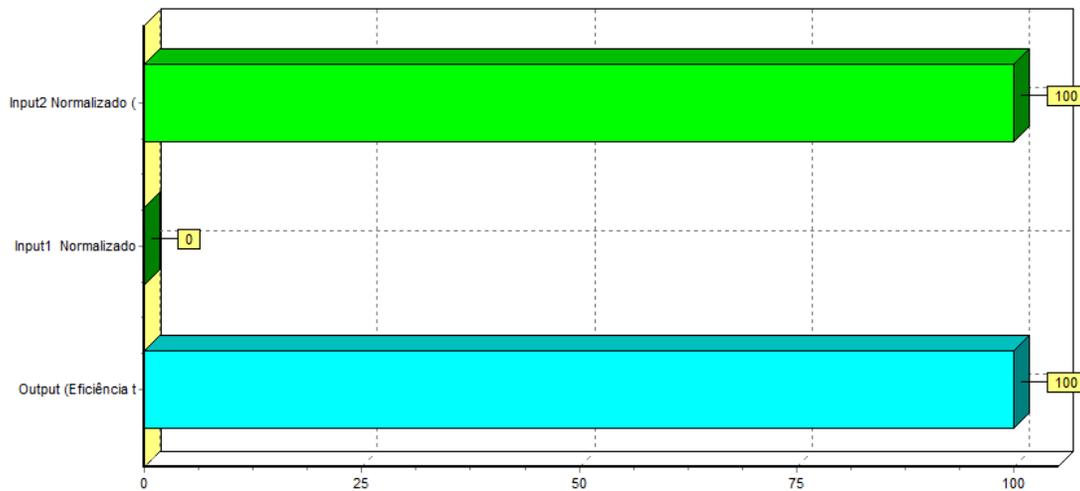


Gráfico 6.27 – Input/Output Contributions: Fabricante1/ETD-2000/Lenha e Fabricante1/ETD-1500/GN

Nas unidades Fabricante1/ETD-1000/Carvão vegetal, Fabricante1/ETD-1000/Lenha, Fabricante1/ETD-2000/Carvão vegetal e Fabricante1/ETD-1500/Carvão vegetal, o *input 1* (gasto com consumo de combustível/energia entregue) contribuiu 100% com o alcance da eficiência. Essa situação pode ser visualizada no Gráfico 6.28.

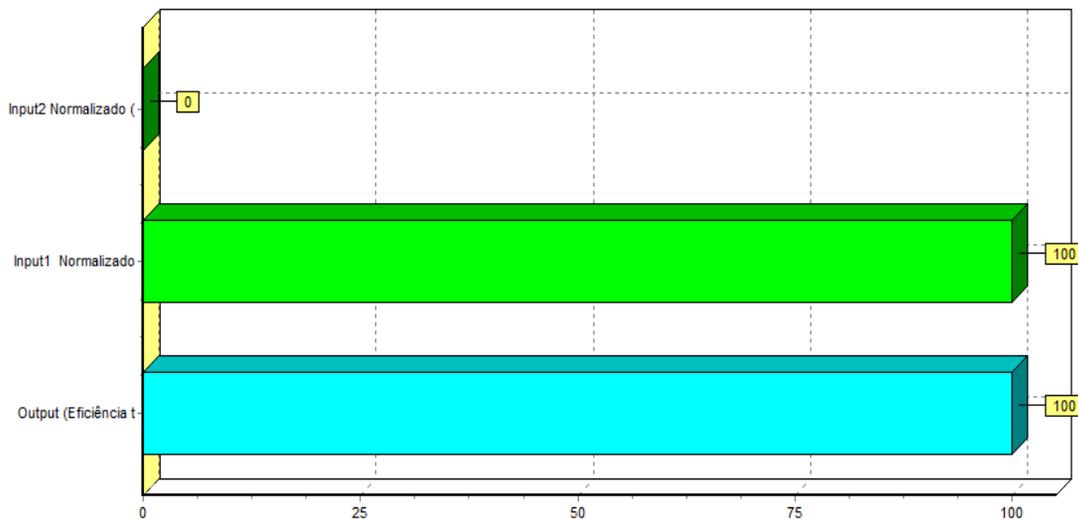


Gráfico 6.28 – Input/Output Contributions: Fabricante1/ETD-1000/Carvão vegetal, Fabricante1/ETD-1000/Lenha, Fabricante1/ETD-2000/Carvão vegetal e Fabricante1/ETD-1500/Carvão vegetal

Para as unidades Fabricante2/BMH-2000/GN, Fabricante2/BMH-1500/GN e Fabricante2/BMH-1000/GN, a estrutura *input/output contributions* foi diferente das unidades anteriores, podendo ser assim definida: o *input1* (gasto com consumo de combustível/energia entregue) contribuiu em 52% com o alcance da eficiência e o *input2*

(emissão de CO<sub>2</sub>/energia entregue) contribuiu em 48% com a eficiência das unidades. O Gráfico 6.29 ilustra essa situação.

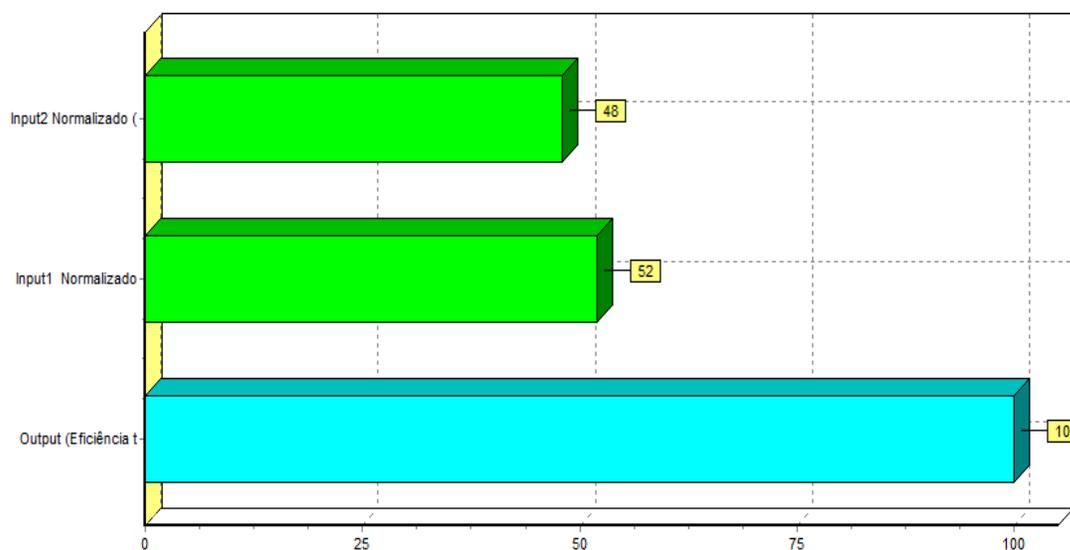


Gráfico 6.29 - Input/Output Contributions: Fabricante2/BMH-2000/GN, Fabricante2/BMH-1500/GN e Fabricante2/BMH-1000/GN

A seguir, será apresentada uma tabela com o resumo do percentual de contribuição de cada *input* para o alcance do *score* de eficiência de cada unidade de aquecedor ineficiente.

Tabela 6.34 - Percentual de contribuição de cada *input* para o alcance do *score* de eficiência

Unit	Input 1	Input 2
Fabricante1/ETD-1500/Carvão vegetal	100%	0%
Fabricante1/ETD-1500/Óleo Diesel	50%	50%
Fabricante1/ETD-2000/Óleo Diesel	50%	50%
Fabricante1/ETD-2000/GN	100%	0%
Fabricante2/BMH-1000/Óleo Diesel	50%	50%
Fabricante2/BMH-1500/Óleo Diesel	50%	50%
Fabricante2/BMH-2000/Óleo Diesel	50%	50%
Fabricante2/BMH-1000/GLP	63%	37%
Fabricante2/BMH-2000/GLP	61%	39%
Fabricante2/BMH-1500/GLP	61%	39%
Fabricante1/ETD-2000/GLP	61%	39%
Fabricante1/ETD-1500/GLP	61%	39%
Fabricante1/ETD-1000/GLP	61%	39%
Fabricante1/ETD-1000/Óleo Diesel	50%	50%
Fabricante1/ETD-1000/GN	100%	0%
Fabricante3/1000/30/GLP	61%	39%

(Continua)

(Continuação)

Fabricante1/ETD-1500/Lenha	100%	0%
Fabricante3/1500/45/GLP	61%	39%
Fabricante3/3000/80/GLP	61%	39%
Fabricante3/2000/60/GLP	61%	39%
Fabricante3/1500/45/GN	52%	48%
Fabricante3/3000/80/GN	52%	48%
Fabricante3/2000/60/GN	52%	48%
Fabricante3/1000/30/GN	52%	48%
Fabricante2/BMH-1000/Lenha	100%	0%
Fabricante2/BMH-2000/Lenha	100%	0%
Fabricante2/BMH-1500/Lenha	100%	0%

Os diversos resultados obtidos com a DEA permitiram comparar o desempenho dos equipamentos a GN com o desempenho dos equipamentos que utilizam energéticos considerados substitutos do gás. É importante destacar que alguns modelos de equipamentos foram projetados para usar, especialmente, um tipo de energético, mas passaram por algumas adaptações para ampliar as opções de combustíveis a serem utilizados. Diante disso, o modelo pode influenciar no desempenho de um energético específico. Conclui-se, portanto, que a eficiência produtiva relativa não está exclusivamente relacionada com as características físico-químicas do energético, mas também com as especificações do equipamento.



## **Capítulo 7 – Conclusão**

---

Esta tese teve como objetivo analisar a aplicabilidade do gás natural do ponto de vista mercadológico, econômico e ambiental. Para tanto, apresentou uma revisão bibliográfica sobre as características do gás natural e as externalidades envolvidas em seu uso, mostrou um levantamento das reservas, produção e consumo desse energético nas regiões estudadas e no Brasil; caracterizou as distribuidoras de gás existentes nessas regiões; destacou os potenciais consumidores industriais do gás e como o gás poderia ser utilizado nas empresas. Além de tudo isso, listou as dificuldades enfrentadas com a nacionalização do gás boliviano. Todas essas informações foram importantes para o embasamento teórico deste trabalho.

Para dar mais fundamento às conclusões apresentadas nesse capítulo final, é importante também fazer uma análise crítica dos resultados encontrados com as técnicas utilizadas para analisar a aplicabilidade do gás natural no setor industrial dos Estados de São Paulo e do Amazonas.

Com relação aos resultados da pesquisa de campo, a Técnica do Incidente Crítico identificou os atributos considerados importantes no processo de escolha do GN como energético nas empresas. Esses atributos foram identificados a partir dos fatores que os respondentes apontaram como dificultadores ou facilitadores para a introdução do gás nos

processos produtivos. Isso possibilitou às empresas tomarem conhecimento da opinião das outras do mesmo setor ou inseridas em outros setores no que diz respeito aos incentivos e barreiras referentes ao uso do gás.

A Análise Conjunta forneceu a importância dos atributos na visão das empresas de uma forma menos empírica, pois foram mensuradas a utilidade e a importância relativa desses atributos por meio de um experimento usando-se o *software* SPSS *Conjoint* 13.0. Vale destacar que a TIC foi indispensável, pois os resultados oriundos dessa técnica servem de entrada para o planejamento do experimento realizado pelo *software* SPSS.

Como se pôde perceber pelos testes de qualidade do ajuste de predição do experimento, o modelo se ajusta muito bem à realidade, e os atributos “impactos ao meio ambiente”, “disponibilidade”, “condições operacionais” e “flexibilidade” devem servir como elementos-chave para o governo na formulação das políticas públicas relacionadas com o planejamento energético, pois os valores das importâncias relativas desses atributos comprovam que eles são fatores decisivos para a adoção do gás nos processos produtivos.

Os atributos com o nível de importância elevada podem fornecer informações valiosas para a elaboração de estratégias governamentais relacionadas com o setor de energia, no que diz respeito ao direcionamento da aplicação de recursos e esforços orientados para a cadeia produtiva do gás natural. De todos os atributos analisados pela AC, o de maior importância relativa, para os dados agregados das empresas do Estado de SP e do AM, foi o impacto ao meio ambiente. Esse resultado permite corroborar a hipótese que considera as questões ambientais como fatores de grande influência na decisão pela adoção do GN nos processos produtivos. Destaca-se também que o fator custo foi comprovado como o de maior importância durante o mestrado da autora desta tese. Como o preço/custo é um fator com alto grau de correlação com os demais fatores do estudo, seria redundante considerá-lo no modelo da análise conjunta.

Com o intuito de trabalhar somente com os atributos identificados como os mais relevantes, decidiu-se inserir variáveis ambientais e econômicas na análise por envoltória de dados por serem os dois fatores que mais influenciam na decisão da empresa. Isso permite dar mais credibilidade aos resultados da análise da eficiência produtiva relativa do conjunto de equipamentos estudados (caldeiras e aquecedores).

Cabe aqui lembrar que a importância dos atributos varia de acordo com o setor e região analisados. Isso é importante destacar, pois boa parte das empresas no Estado de São Paulo tinha experiência no uso do gás. Já no Estado do Amazonas, o gás ainda estava sendo introduzido. Isso foi visível, pois boa parte da cidade de Manaus estava sendo mobilizada com as obras para a instalação das linhas de distribuição durante a época de coleta de dados desta pesquisa. Até junho de 2010, o consumo era privilégio de uma pequena frota de veículos utilizados para serviços de táxi, mas havia uma expectativa muito grande de esse energético ser difundido para outros setores consumidores com a chegada do gasoduto Urucu-Coari-Manaus.

Destaca-se que o governo do Estado do AM estava bastante preocupado em atender as termelétricas do Estado com o gás trazido pelo gasoduto Urucu-Coari-Manaus, pois seria uma forma de garantir o abastecimento de energia elétrica que sofria com instabilidades de fornecimento.

Devido à maior preocupação do governo em atender primeiramente veículos para táxi e termelétricas, alguns setores industriais estão preocupados com o tempo que ainda será necessário esperar para ter o fornecimento do GN na porta das empresas do Distrito Industrial de Manaus. Isso foi um dos motivos que levou o resultado da importância relativa ser elevada no atributo “disponibilidade” nas empresas de componentes plásticos e química do Estado.

Da mesma forma que ocorrem diferenças na análise por setor, também é possível encontrar diferenças nas utilidades parciais e importâncias relativas para cada respondente de cada empresa participante. Vale lembrar que o resultado varia de acordo com processo de tomada de decisão em relação às preferências dos cartões das pessoas envolvidas. Neste trabalho, contou-se com a colaboração de vários níveis hierárquicos: técnicos, analistas, supervisores, engenheiros, coordenadores, gerentes e diretores.

Outra informação importante é que, durante o mês de junho do ano de 2010 (período da coleta de dados nas empresas dos Distritos Industriais de Manaus), circularam, na cidade, várias notícias sobre a possível tarifa do  $m^3$  de GN que seria cobrada aos futuros consumidores. Houve várias discussões, mas nenhuma foi conclusiva, pois os empresários não estavam aceitando o valor anunciado pela Cigás (Companhia de Gás do Amazonas). Segundo o Jornal “A Crítica” de 8 de junho de 2010, o  $m^3$  estava previsto para ser

comercializado por R\$ 1,80 e os empresários esperavam um valor mais baixo, que justificasse os investimentos que eles precisariam fazer para adequar suas linhas de produção e equipamentos. O diretor comercial da Cigás enfatizou que essa tarifa não era definitiva, pois poderia sofrer alterações, mas já destacou que a tarifa estava competitiva, pois é um valor 30% menor que o GLP, um dos principais energéticos a ser substituído pelo gás.

Com relação aos resultados da análise por envoltória de dados, esses foram apresentados por meio de gráficos e tabelas que ilustraram as diversas categorias de resultados (*efficiency scores*, *potential improvements*, *reference comparison*, *input/output contributions*).

Na categoria de resultados *efficiency scores*, percebeu-se que, das 4 unidades de caldeiras eficientes, 3 são movidas a gás natural. Na análise dos aquecedores, das 8 unidades eficientes, 4 utilizam o gás natural. Vale destacar que foram analisados equipamentos utilizando carvão vegetal, óleo diesel, GLP, lenha, óleo 1A, cavaco de pinus, além do GN.

Na categoria de resultados *potential improvements*, foi possível perceber que as melhorias recomendadas nas unidades consideradas ineficientes, de um modo geral, envolviam diminuição do gasto com consumo de combustível, diminuição da emissão de CO<sub>2</sub> ou aumento da eficiência térmica.

A mesma reflexão pode ser feita com a análise dos gráficos *reference comparison*, pois as unidades classificadas como eficientes apresentaram um nível de CO<sub>2</sub> e um gasto com consumo de combustível menor. Além disso, vale destacar que a eficiência térmica foi considerada mais elevada nas unidades eficientes.

Diante de todos esses resultados, é possível confirmar a segunda hipótese apresentada no início deste trabalho: - O menor nível de emissão de CO<sub>2</sub> (variável ambiental inserida na DEA) contribui com uma posição de vantagem aos equipamentos utilizando o gás natural como fonte energética.

É importante ter cautela para não generalizar os resultados, pois alguns modelos de equipamentos podem ter sido projetados para usar um energético específico. Isso pode explicar a elevada eficiência produtiva relativa de determinados equipamentos.

Como se trata de um assunto estratégico do governo, é importante retomar a discussão sobre a nacionalização do gás boliviano ocorrida no ano de 2006 para apontar falhas e propostas de melhorias relacionadas ao planejamento energético brasileiro.

Com a nacionalização da exploração do gás boliviano, em maio de 2006, houve muitas discussões entre os governos dos países importadores deste energético e o governo boliviano, uma vez que foram aumentados os impostos desse produto e ocorreram ameaças de expropriação da infra-estrutura produtiva pertencente às empresas instaladas na Bolívia. Além de todos esses problemas, há também a questão do aumento do preço do gás explorado pela Petrobras, que não estava previsto no contrato assinado entre os países antes de dar início à exploração do gás boliviano.

O fato de o Brasil depender majoritariamente de um fornecedor instável preocupou muitas indústrias, principalmente do Estado de São Paulo, que dependem largamente do gás em seus processos produtivos e temem uma nova crise energética.

Vale destacar que, diante do medo de desabastecimento, muitas empresas adotaram medidas para contornar qualquer parada por falta do gás. Dentre elas, pode-se destacar a compra de geradores próprios e a substituição dos equipamentos. Essa troca de equipamentos representou um retrocesso, pois voltou-se a usar os energéticos que foram inviabilizados com a entrada do plano governamental de massificação do uso do gás.

Diante disso, é importante inserir a exploração do GN como aspecto prioritário no planejamento energético brasileiro, já que é de grande importância para o país deixar de se apoiar em um fornecedor problemático, passar a explorar suas próprias reservas e investir em outros países, ou seja, aumentar as possibilidades de fornecimento.

Para que o Brasil se tornasse menos dependente do gás da Bolívia, foi essencial a implementação do Plano de Antecipação de Produção de Gás (Plangás). Esse plano foi lançado pela Petrobras no ano de 2006 e previa um conjunto de políticas para acelerar a exploração das novas reservas no Brasil.

O Programa de Aceleração do Crescimento lançado em 2007 também injetou recursos financeiros em diversos projetos no setor de energia contribuindo para o aumento da produção de gás natural.

Para ilustrar a capacidade produtiva brasileira com relação ao gás, é importante frisar que, segundo o governo federal, a confirmação da descoberta das grandes reservas na

camada pré-sal da Bacia de Santos, eleva o Brasil para a elite mundial dos produtores (LAGE, 2007).

Como é possível perceber, o episódio da nacionalização do gás boliviano foi usado, pelo Brasil, como oportunidade de refletir sobre as condições do setor gasífero nacional. Isso estimulou a elaboração de medidas que reduzam sua dependência com relação às reservas do país vizinho.

Além das medidas já mencionadas para ampliar a produção brasileira de gás, merecem destaque também os investimentos em infra-estrutura capazes de explorar as reservas descobertas na camada pré-sal. Para isso, a Petrobras está investindo milhões.

Outros investimentos importantes são as duas unidades de regaseificação que foram construídas para importar GNL da Venezuela por meio da liquefação do gás natural deste país.

Em setembro de 2009, o presidente da Petrobras, José Sérgio Gabrielli, afirmou que as obras do gasoduto Gasene vão levar o gás do sudeste para o nordeste e vão receber o gás das primeiras jazidas do pré-sal que estão em operação. Tupi e Mexilhão estarão ligados por esse gasoduto até o ano de 2011, na previsão da estatal (GASENE [...], 2010).

Considerando-se ainda os diversos projetos no setor gasífero, vale ressaltar que a maior empresa de gás natural do mundo, a russa Gazprom, anunciou que pretendia assinar acordo com Brasil e Venezuela para contribuir com as obras do gasoduto que ligará Venezuela, Brasil e Argentina (CHADE, 2006).

Logo, conclui-se que a nacionalização dos recursos naturais da Bolívia serviu como uma lição para o Brasil, que passou a se preocupar com sua auto-suficiência e diversificação de fornecedores de GN. Assim, o Brasil procurou várias alternativas de suprimento deste energético, que poderão trazer uma estabilidade para o país frente a esta polêmica com a Bolívia.

Diante de todas essas iniciativas, Tolmasquim (presidente da Empresa de Pesquisa Energética) se diz otimista em relação à oferta de gás no futuro. Segundo Tolmasquim, “em 2013 o Brasil terá o problema inverso: em vez de falta de gás, pode haver excesso de oferta do combustível, que pode até tornar o País exportador”. Essas afirmações comprovam que as novas reservas e os investimentos para acelerar a produção delas, ajudam a recuperar a auto-estima perdida com a nacionalização.

Contudo, as políticas públicas voltadas para o setor de energia poderiam ter alocado, no passado, mais recursos para o setor de gás natural a fim de antecipar a produção das reservas provadas. Além disso, poderiam ter se esforçado para desenvolver e colocar em prática projetos que diminuíssem a dependência do GN boliviano, pois, se todos os projetos em andamento estivessem finalizados, eles estariam fornecendo um volume de GN igual ou maior ao que é importado da Bolívia. Com essa capacidade produtiva, seria possível dizer que o Brasil seria auto-suficiente em gás natural, reduzindo o poder de negociação que a Bolívia tem hoje.

A partir de informações acerca do assunto, é possível concluir, também, que a Bolívia será fortemente prejudicada, caso resolva cortar o abastecimento de gás para o Brasil. Neste caso, é possível que fique um bom tempo sem ter como comercializar com outro comprador, devido ao tempo necessário para criar infra-estrutura para levar o gás que deixaria de ser consumido no Brasil para outros mercados. Outro argumento que pode confirmar os danos para a Bolívia é que nenhum outro país teria confiança em fechar contrato com ela diante das declarações feitas no dia 1º de maio de 2006 (dia da nacionalização) por Evo Morales.

Observando-se de outro modo, o Brasil estava bastante acomodado com a importação do gás boliviano por um preço baixo, o que inviabilizava, comparativamente, muitos projetos para a produção de gás no país. Apenas com a nacionalização dos recursos naturais da Bolívia é que o governo brasileiro se preocupou em buscar a auto-suficiência do gás natural.

Apesar de o gás natural ser considerado um combustível com boas expectativas de expansão da oferta com a descoberta de reservas com grande capacidade produtiva, merece destaque a falta de uma política diferenciada de preços que estimule o consumo industrial.

A elaboração de políticas públicas na área de energia e a realização de planejamento da expansão do setor energético são responsabilidades do Ministério de Minas e Energia (MME) com atuação discutível no que diz respeito à eficácia e eficiência contínuas. Antes, durante a vigência do modelo setorial estatal, o planejamento dos setores de energia elétrica, petróleo e gás natural era exercido pela Eletrobrás e Petrobras. Nessa época, houve uma valorização em excesso da atividade de regulação do mercado que relegou a um segundo plano a formulação de políticas energéticas e o exercício do planejamento.

Além das conclusões referentes a cada técnica utilizada no procedimento de investigação e, também, dos comentários sobre os principais aspectos políticos envolvidos com o tema de pesquisa, cabe aqui comentar as dificuldades encontradas durante o desenvolvimento deste trabalho. A primeira dificuldade a ser destacada é a falta de tempo e de interesse de alguns funcionários entrevistados. Além disso, destaca-se o receio em compartilhar informações. Muitos precisaram esperar um bom tempo para serem autorizados a disponibilizar informações, e outros não conseguiram essa autorização. Diante disso, foi necessária bastante insistência nos contatos para conseguir agendar as visitas nas 40 empresas colaboradoras da AC.

A dificuldade de deslocamento e a distância entre os 11 municípios envolvidos do Estado de SP tornaram o trabalho exaustivo e moroso. Como as 20 empresas participantes da pesquisa de campo no Estado de São Paulo não estavam concentradas em distritos industriais próximos, como no Polo Industrial de Manaus, houve muitos gastos com transporte o que se agravou com a reduzida verba para auxiliar na pesquisa.

Antes de finalizar, é fundamental ressaltar outras contribuições do presente trabalho. São elas:

- Obteve resultados importantes que ajudarão as empresas usuárias e não-usuárias do GN a mensurar, de forma mais objetiva, os fatores intervenientes na decisão de adoção desse energético nos processos produtivos e que permitirão ao governo estabelecer estratégias adequadas para incentivar o uso do gás depois da sua prevista ampliação devido às recém-descobertas na camada pré-sal e do funcionamento do novo gasoduto Urucu-Coari-Manaus;
- Apresentou indicadores que ajudarão a fundamentar, mais objetivamente, as pesquisas científicas que têm o interesse de avaliar o desempenho do GN em relação aos seus substitutos e mostrar a sua contribuição para o desenvolvimento sustentável;
- Mostrou a eficiência produtiva relativa de equipamentos a gás natural e comparou essa eficiência com a eficiência de equipamentos que utilizam demais energéticos. Essa comparação foi baseada em indicadores ambientais e econômicos;

Além de tudo isso, os resultados obtidos poderão fomentar o desenvolvimento de capital intelectual na área de GN nas regiões em estudo e apresentar resultados conclusivos às empresas pesquisadas, o que poderá contribuir na tomada de decisão dos atuais e futuros investimentos relacionados ao GN.



## Referências

---

ABEL, L. **Avaliação cruzada da produtividade dos departamentos acadêmicos da UFSC, utilizando DEA (Data Envelopment Analysis)**. 2000. 106p. Dissertação (Mestrado). Programa de pós-graduação em engenharia de produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

AFGAN, N.H., CARVALHO, M.G.; PILAVACHI, P.A. & MARTINS, N. Evaluation of natural gas supply options for south east and central Europe. Part 1: Indicator definitions and single indicator analysis. **Energy Conversion & Management**: 48, p. 2517 – 2524, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). **Anuário Estatístico 2007**. Apresenta dados estatísticos da indústria de petróleo e gás natural. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/?pg=9089&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1259521737046>>. Acesso em: 17 de agosto 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). Agência Nacional do Petróleo. **Anuário Estatístico 2009**. Apresenta dados estatísticos da indústria de petróleo e gás natural. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/?pg=9089&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1259521737046>>. Acesso em: 29 de novembro 2009. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). **Boletim mensal do gás natural**. Apresenta dados estatísticos referentes ao mês de novembro do ano de 2010. Disponível em: <  
<http://www.anp.gov.br/?pg=43387&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1299502934703>>. Acesso em: 07 de março 2011.

ALMEIDA, F. **O bom negócio da sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 2002.

ALONSO, P.S.R. **Estratégias corporativas aplicadas ao desenvolvimento do mercado de bens e serviços: uma nova abordagem para o caso da indústria de gás natural no Brasil**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

ANDERSON, T. **A Data envelopment analysis (DEA) home page**. Portland: State University. Portland, 1997.

AZAPAGIC, A.; PERDAN, S.; CLIFT, R. **Sustainable Development in practice: case studies for engineers and scientists**. England: Wiley, 2004.

BEESP. **Balanco Energético do Estado de São Paulo (Ano-Base 2009)**. Divulga informações relativas ao binômio oferta-consumo de fontes de energia. Disponível em: <[http://www.energia.sp.gov.br/Balanco\\_2010\\_2009.pdf](http://www.energia.sp.gov.br/Balanco_2010_2009.pdf)>. Acesso em: 07 de março de 2010.

BEN. **Balanco Energético Nacional**. Apresenta informações da matriz energética. Disponível em: < <https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2010.aspx>>. Acesso em: 07 de março de 2010.

BANKER, R.D.; CHARNES, A.; COOPER, W.W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science** Providence, v.30, n.9, p.1078-1092, 1984.

BARBIERI, J. C. **Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudanças da agenda 21**. Petrópolis, RJ: Vozes, 1997.

BARBOSA, L.L. **Design sem fronteiras: a relação entre o nomadismo e a sustentabilidade**. 2008. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BATTESINI, M. **Método de análise conjunta com estimulação em duas etapas**. Dissertação (Mestrado em engenharia de Produção), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

BELLEN, H. M. V. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.

BELLONI, J.A. **Uma metodologia de avaliação da eficiência produtiva de Universidades Federais Brasileiras.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

BIONDI NETO, L. B.; MELLO, J.C.C.B.C.; GOMES, E.G. Método Fourier – DEA na medição de um componente da quantidade de energia elétrica. In: XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 23., 2003, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2003.

BORGES, F.H. **O meio ambiente e a organização: um estudo de caso baseado no posicionamento de uma empresa frente a uma nova perspectiva ambiental.** 2007. 92p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

BRAGA, C. (Org.). **Contabilidade ambiental: ferramenta** para a gestão da sustentabilidade. São Paulo: Atlas, 2007.

BRANDÃO, C.E.L. **Sustentabilidade e empresas: uma reflexão crítica.** 2009. 148p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

BRITO, A.; GUIMARÃES, M. **Bolívia fala em dobrar o preço do gás para o Brasil.** O Estado de São Paulo, 30 jun. 2006. Disponível em <[http://www.power.inf.br/notic\\_dia.php?cod=1579](http://www.power.inf.br/notic_dia.php?cod=1579)>. Acesso em: 26 jul. 2006.

CAMIOTO, F. C. **O uso de fontes de energia limpa na indústria paulista: um passo para a redução da poluição atmosférica.** 2009. 108f. Monografia de Qualificação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

CAMIOTO, F.C.; LIMA, M.S.O.; REBELATTO, D.A.N. A questão da nacionalização do gás natural boliviano: desafios para o planejamento energético brasileiro. In: XV Simpósio de Engenharia de Produção, 15., 2008, Bauru. **Anais...**Bauru, 2008.

CAMPOS, V.F. **Qualidade total: padronização de empresas.** Nova Lima, MG: Tecnologia e Serviços, 2004.

CATTELI, A. **Controladoria: uma abordagem da gestão econômica-Gecon.** São Paulo: Atlas, 1999.

CARTAXO, E.F. *et al.* O gás natural e a perspectiva de mercado no estado. **Revista Brasileira de Energia**, n.1, v. 12, 2006.

CASA NOVA, S.P.C. **Utilização da análise por envoltória de dados (DEA) na análise de demonstrações contábeis.** 2002. Tese (Doutorado em Ciências Contábeis) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CASTRO, L.R.K. **Valor percebido como ferramenta para tomada de decisão: uma aplicação na indústria hoteleira utilizando análise conjunta.** 2006. 187 p. Dissertação

(Mestrado) – Departamento de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

CAVALCANTI, C. Uma tentativa de caracterização da economia ecológica. **Ambiente e Sociedade**, v.7, p.149-158, 2004.

CETESB (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL). Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 18 dez. 2009.

CHARNES, A. et al. **Data envelopment analysis: theory, methodology, and application**. Massachusetts: Kluwer, 1997.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. **European Journal of Operational Research**, vo.2, 429-444, 1978.

CHEVALIER, S. et al. **User guide to 40 Community Health indicators**. Ottawa: Community Health Division, Health and Welfare Canada, 1992.

CHURCHILL Jr. G. A., NIELSEN, Jr. A. C. **Marketing Research: Methodological Foundations**. 6.ed. Wisconsin: The Dryden Press, 1996.

CIGÁS (COMPANHIA DE GÁS DO AMAZONAS). Disponível em: <<http://www.cigas-am.com.br/>>. Acesso em: 17 jan. 2010.

CIGÁS define neste mês tarifa para empresas do PIM (2011). **D24am.com**. Manaus, 07 de mar. 2011. Disponível em: <<http://www.d24am.com/noticias/amazonas/cigas-define-neste-mes-tarifa-para-empresas-do-pim/18727>>. Acesso em: 07 de mar. 2011.

CIMA, F.M. **Utilização de indicadores energéticos no Plano Energética Integrado**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CHADE, J. (2006). Gazprom quer, até março, contrato do gasoduto. **Jornal do Comércio**, 29 nov. 2006. Disponível em: <[http://www.power.inf.br/notic\\_dia.php?cod=3253](http://www.power.inf.br/notic_dia.php?cod=3253)>. Acesso em: 14 dez. 2006.

CMMAD - COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO - ([1988] 1998). **Nosso futuro comum**. 1. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas. xviii, 430 p.

COMGÁS (COMPANHIA DE GÁS DE SÃO PAULO). Disponível em: <<http://www.comgas.com.br/>>. Acesso em: 17 de jan. 2010.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. (2006). Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/dutos/dutos.asp>>. Acesso em: 6 mar. 2005.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro, Ed. Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. Indústria sustentável no Brasil. **Agenda 21: cenários e perspectivas**. Brasília: CNI, 2002.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Conselho para assuntos de energia. **O gás natural e a indústria**. Rio de Janeiro: COASE, 1989. 99p.

COTRIN, S.L. **Aspectos do uso do gás LP como combustível sustentável na matriz energética de países da América do Sul**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, 2008.

CENTRO DE TECNOLOGIAS DO GÁS (CTGás). Disponível em: <<http://www.ctgas.com.br>>. Acesso em: 10 jun. 2005.

DASGUPTA, S.; LUCAS, R.E.B.; WHEELER, D. **Small plants, pollution and poverty: new evidence from Brasil and México**. World Bank Policy Research Department Working Paper, November, 1998.

DIAS, R. **Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade**. São Paulo: Atlas, 2008.

DONAIRE, D. **Gestão ambiental na empresa**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

ELKINGTON, J. **Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business**. Oxford: Capstone, 1997.

FAIRBANKS, M. Energia cara e sustentabilidade estimulam projetos de cogeração e de aumento de eficiência. **Revista Química e Derivados**, n. 501, setembro, 2010.

FARREL, M.J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, series A, v.120, part III, p.253-281, 1957.

FERREIRA, A.B.H. **Novo dicionário de língua portuguesa**. São Paulo: Nova Fronteira, 1975.

FLANAGAN, J.C. The critical incident technique. **Psychological Bulletin**, v.51, n.4, p.327-58, 1954.

FRAUSTO MARTÍNEZ, O. *et al.* Herramientas y técnicas para la aplicación y evaluación de indicadores de desarrollo sustentable para localidades o municipios. In: MUNOZ, A.P. **Turismo: teoría y praxis**. Universidad de Quintana Rôo, Cuerpo Académico de Turismo, Plaza y Valdés Editores, 2005. p. 85-91.

GALLOPIN, G.C. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A system approach. **Environmental Modelling & Assessment**, n.1, p. 101-117, 1996.

GAS BRASILIANO GBD. Disponível em: <<http://www.gasbrasiliano.com.br/>>. Acesso em: 17 de jan. 2010.

GASENE ficará pronto em 2010. Disponível em: <[http://intelog.net/site/default.asp?TroncoID=907492&SecaoID=508074&SubsecaoID=538090&Template=../artigosnoticias/user\\_exibir.asp&ID=477061&Titulo=Gasene%20ficar%20E1%20pronto%20em%202010](http://intelog.net/site/default.asp?TroncoID=907492&SecaoID=508074&SubsecaoID=538090&Template=../artigosnoticias/user_exibir.asp&ID=477061&Titulo=Gasene%20ficar%20E1%20pronto%20em%202010)>. Acesso em: 17 de jan. 2010.

GAS NATURAL SÃO PAULO SUL (GAS NATURAL SPS). Disponível em:<<http://portal.gasnatural.com/servlet/ContentServer?gnpage=4-50-0&centralassetname=4-50-4-0-0-0>>. Acesso em: 17 de jan. 2010.

GASNET. Disponível em:<[http://www.gasnet.com.br/entrevistas/entrevistas\\_view2.asp?cod=88](http://www.gasnet.com.br/entrevistas/entrevistas_view2.asp?cod=88)>. Acesso em: 11 mar. 2006.

GASODUTO Urucu-Manaus terá 661 Km e sete ramais. Disponível em:<<http://www.power.inf.br/pt/?p=12377>>. Acesso em: 25 de nov. 2009.

GEOCIDADES, 2001. **Indicadores Ambientais Urbanos**, IBAM-ISER, REDEH-MMA-PNUMA.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. 3.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

GREEN, P.E. & SRINIVASAN, V. Conjoint Analysis in Consumer Research: Issues and Outlook. **Journal of Consumer Research** 5 (September): 103-23, 1978.

GUIMARÃES, L.T. **Proposta de um sistema de indicadores de desenvolvimento sustentável para bacias hidrográficas**. Tese (Doutorado) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2008.

HAIR, J.F. et al. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HALES, D.; PRESCOTT-ALLEN, R. Vôo cego: avaliação do progresso rumo à sustentabilidade. In: ESTY, D.; IVANOVA, M. H. **Governança ambiental global: opções & oportunidades**. São Paulo: Senac São Paulo, 2005.

HAMMOND, A. et al. **Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development**. Washington, DC: World Resources Institut, 1995.

HANAI, F.; ESPÍNDOLA, E.L.G. Envolvimento e participação de atores sociais na elaboração de um sistema de indicadores de sustentabilidade turística. In: López, D. (Org.). **Innovación, creatividad y nuevos modelos de gestión de turismo**. Valencia: Tirant lo Blanch, 2009, p.511-528.

HART, M. Sustainable Measures. Disponível em :  
<<http://www.sustainablemeasures.com/Indicators/Index.html>>. Acesso em: 05 set. 2007.

HENRIQUES, I.; SADORSKY, P. The determinants of an environmentally responsive firm: an empirical approach. **Journal of Environmental Economics and Management**. v.30, article n.26, p.381-395, 1996.

HOLLING, C.S. **Adaptative environmental assessment and management**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1978.

HOUAISS, A. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**. São Paulo: Objetiva, 2001.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA (IPT). **Conservação de energia na indústria do açúcar e do álcool**: manual de recomendações. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1990.

IPCC. *Intergovernmental Panel on Climate Change*, revisão de 2000, disponibilizado pela revista E&E – Economia e Energia, 2000.

IPCC. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook*, revisão de 1996. Apresenta a metodologia *top-down* para mensurar o nível de emissão de CO<sub>2</sub> a partir do volume de energético consumido. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch1wb1.pdf>>. Acesso em: 14 de junho de 2011.

JARDIM, A. Que herança deixaremos para os nossos filhos? **Portal Única**. Disponível em:  
<<http://www.portalunica.com.br/portalunica/index.php?Secao=referencia&SubSecao=opinio&SubSubSecao=artigos&id=%20and%20id=55>>. Acesso em: 21 ago. 2006.

JAPPUR, R. F. **A sustentabilidade corporativa frente às diversas formações de cadeias produtivas segundo a percepção de especialistas**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

JOHNSON, R.M. A Simple Method for Pairwise Monotone Regression. **Psychometrika** 40 (June): 163-68, 1975.

KEMP, D.D. **Global Environmental Issues: A Climatological Approach**, 2 nd ed. London, New York: Routledge, 1994.

KO, YUNG-CHANG & LIN., T. Emissions and efficiency of a domestic gas stove burning natural gases with various compositions, **Energy Conversion & Management**: 44, 3001-3014, 2003.

- KRAEMER, M.E.P. **Responsabilidade social: uma alavanca para sustentabilidade.** Curitiba: Ambiente Brasil, 2005.
- KROES, E.P., SHELDON, R. Stated Preference Methods - An Introduction. **Journal of Transport Economics and Policy**, v.XXII, n.1, p.11-25, janeiro 1988.
- KRUSKAL, J.B. Analysis of Factorial Experiments by Estimating Monotone Transformations of the Data. **Journal of the Royal Statistical Society**, B27: 251-63, 1965.
- LAGE, J. País entra na elite do petróleo, diz governo. **Folha de São Paulo**, 09 de nov. 2007.
- LIMA, K. Governo prevê aperto na oferta de gás em 2008. **O Estado de São Paulo**, 14 nov. 2006. Disponível em: <[http://www.power.inf.br/notic\\_dia.php?cod=3093](http://www.power.inf.br/notic_dia.php?cod=3093)>. Acesso em: 14 dez. 2006.
- LINS, M.P.E.; MEZA, L.A. **Análise por envoltória de dados e perspectivas de integração no ambiente de apoio à decisão.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2002.
- LOBATO, E; BRASIL, K. Gasoduto Urucu-Manaus terá 661 Km e sete ramais. **Vermelho**, São Paulo/SP, 26 nov. 2009. Disponível em:<<http://www.power.inf.br/pt/?p=12377>>. Acesso em: 26 de nov. 2009.
- LOUETTE, A. **Compêndio de indicadores de sustentabilidade de nações: uma contribuição ao diálogo da sustentabilidade.** São Paulo: Willis Harman House (WHH), 2009.
- LOURENÇO, S.R. **Gás natural: perspectivas e utilização.** 2003. 106p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- LOVELL, C.A.K. **Productions frontiers and productive efficiency. In the measurement of productive efficiency. Techniques and applications.** New York, Oxford: Oxford University Press, 1993.
- LOVINS, A.B.; LOVINS, L.H.; HAWKEN, P. A road map for natural capitalism. **Harvard Business Review**, Harvard, p. 145-158, mai-jun.1999.
- MAGRETTA, J. Growth through global sustainability: an interview with Monsanto's CEO, Robert Shapiro. **Harvard Business Review**, Harvard, jan-fev. 1997.
- MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada.** 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- MARANHÃO, N., **Sistema de indicadores para planejamento e gestão dos recursos hídricos de bacias hidrográficas.** Tese (Doutorado) – Programa de Engenharia Civil, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2007.

- MARIANO, E.B. **Sistematização e comparação de técnicas, modelos e perspectivas não-paramétricas de análise de eficiência produtiva**. 2008. 301f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
- MARIANO, E.B.; ALMEIDA, M.R.; REBELATTO, D.A.N. Peculiaridades da Análise por Envoltória de Dados. In: Simpósio de Engenharia de Produção, 12., 2006, Bauru. **Anais...** Bauru: SIMPEP, 2006a.
- MARIANO, E.B.; ALMEIDA, M.R.; REBELATTO, D.A.N. Princípios básicos para uma proposta de ensino sobre análise por envoltória de dados. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ensino em Engenharia, 31., 2006, Passo Fundo. **Anais...**Passo Fundo:COBENGE, 2006b.
- MAY, P.H.; LUSTOSA, M.C. e VINHA, V. (Org.), **Economia do meio ambiente: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.
- McCULLOUGH, D. A User's Guide to Conjoint Analysis. *Journal of Marketing Research*. **Summer** 2002, p.19-23, 2002.
- MCQUEEN, D. NOAK, H. Health promotion indicators: current status, issues and problems. **Health Promotion**, n.3, p.117-125, 1988.
- MELLO, J.C.C.B.S. et al. Método multicritério para seleção de variáveis em modelos DEA. **Revista Pesquisa Naval**, v.15, p.55-66, 2002.
- MELO, J. C. **Importância do atributo Responsabilidade Socioambiental na escolha da instituição financeira pelo cliente**. São Carlos: USP/EESC, 2008. 64p. Relatório de Iniciação Científica.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). **Relatório de referência sobre emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis: abordagem top-down elaborado pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE) no ano de 2006**. Disponível em:<<http://www.mct.gov.br/clima>>. Acesso em: 22 de jan. 2006.
- MOLDAN, B.; BILLHARZ, S.; MATRAVERS, R. **Sustainability indicators: a report on the project on indicators of sustainable development**. Chichester: John Wiley and Sons, 1997.
- MOURA, L. A. A. **Qualidade e gestão ambiental**. São Paulo: Juarez de Oliveira, 2004.
- NAREDO, J.M. **Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible**. **Documentación Social**, n. 102, p. 129-148, 1996.
- NAREDO, J.M.; VALERO, A. **Desarrollo económico y deterioro ecológico**. Madrid: Fund. Argentaria y Visor Distr, 1999.

NIEDERAUER, C.A.P. **Avaliação dos bolsistas de produtividade em pesquisa de engenharia de produção utilizando Data Envelopment Analysis**. 1998. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

NOGUERIA, D. Caldeira para biomassa ganha espaço sobre caldeira a gás. *DCI*, São Paulo, 17 nov. 2006. Disponível em: <[http://www.power.inf.br/notic\\_dia.php?cod=3129](http://www.power.inf.br/notic_dia.php?cod=3129)>. Acesso em: 14 dez. 2006.

NUNAMAKER, T.R. Using data envelopment analysis to measure the efficiency of non-profit organizations: a critical evaluation. **Managerial and Decision Economics**. vol. 6, n.1, p.50-58, 1985.

PALOMINO, R.G. **Cogeração a partir de gás natural: uma abordagem política, econômica, energética, exergética e termoeconômica**. 2004. 145p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

OECD (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT). **Progress of domestic statistical indicators in relation to OECD sustainable development indicators**. 2003. Disponível em: <[http://apec.kiep.go.kr/pool/einfo2003.nsf/0/bfea665f4bf967fb49256e0f000b6f0c/\\$FILE/\\_7273qs4e5sg8-s1hoho3d13dv168o30cpd6cpg\\_.pdf](http://apec.kiep.go.kr/pool/einfo2003.nsf/0/bfea665f4bf967fb49256e0f000b6f0c/$FILE/_7273qs4e5sg8-s1hoho3d13dv168o30cpd6cpg_.pdf)>. Acesso em: set. 2007.

OLIVEIRA, L.G.M.; BAJAY, S.V. Políticas públicas e regulação do setor de gás natural: experiência internacional e propostas para o Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE REGULAÇÃO DE SERVIÇOS PÚBLICOS CONCEDIDOS, 4., 2005, Manaus. *Anais...* Manaus: ARSAM, 2005.

PÉRICO, A.E. **A relação entre as infraestruturas produtivas e o produto interno bruto (PIB) das regiões brasileiras: uma análise por envoltória de dados**. 2009. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

PETROBRAS e Bolívia agora negociam preço do gás (2006). **Folha de São Paulo**. São Paulo, 07 nov. 2006. Disponível em <[http://www.power.inf.br/notic\\_dia.php?cod=3032](http://www.power.inf.br/notic_dia.php?cod=3032)>. Acesso em: 14 dez. 2006.

PETROBRAS. Apresenta informações na área da energia. Disponível em: <<http://www2.petrobras.com.br/portugues/index.asp>>. Acesso em: 05 de janeiro de 2008.

PHILIPPI JR. A.; ROMERO, M.A.; BRUNA, G.C. (Org.). **Curso de gestão ambiental**. Barueri: Manole, 2004.

PRAÇA, E.R. **Distribuição de gás natural no Brasil: um enfoque crítico e de minimização de custos**. 2003. 158p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

- Research Triangle Institute. Trade-Off VR. Research Triangle Park, N.C.: Research Triangle Institute, 1996.
- RIVA, A.; S. D'ANGELOSANTE & C. TREBESCHI. Natural gas and the environmental results of life cycle assessment, **Energy**: 31 (1), 138-148, 2006.
- ROBLES JR., A. BONELI, V.V. **Gestão da qualidade e do meio ambiente: enfoque econômico, financeiro e patrimonial**. São Paulo: Atlas, 2006.
- SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI**. São Paulo: Nobel, 1993.
- SANTANA, N.B. **Responsabilidade socioambiental e valor da empresa: uma análise por envoltória de dados em empresas distribuidoras de energia elétrica**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
- SANTOS, E.M. *et al.* **Gás natural: estratégias para uma energia nova no Brasil**. São Paulo: ANNABLUME, 2002.
- SANTOS, C. **Prevenção da poluição industrial: identificação de oportunidades, análises dos benefícios e barreiras**. 2005. 304p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- SANTOS, E.O. **Contabilização das emissões líquidas de gases de efeito estufa de hidrelétricas: uma análise comparativa entre ambientes naturais e reservatórios hidrelétricos**. 2006. 165p. Tese (Doutorado) – Coordenação dos programas de pós-graduação de engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- SCANDIFFIO, M.I.G. **A competitividade do gás natural no segmento de revestimento cerâmico brasileiro**. 2001. 137p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.
- SCHOCKER, A.D., & SRINIVASAN, V., LINMAP (Version II): A Fortran IV Computer Program for Analyzing Ordinal Preference (Dominance) Judgments Via Linear Programming Techniques for Conjoint Measurement. **Journal of Marketing Research** 14 (February): 101-103, 1977.
- SCHÜFFNER, C. Pré-sal reserva pesado investimento para a Bacia de Santos. Valor Econômico. Disponível em: < <http://www.power.inf.br/>>. Acesso em: 18 de dez. 2009.
- SEDAC (Socioeconomic Data and Applications Center). Disponível em: < <http://sedac.ciesin.columbia.edu/es/esi/>>. Acesso em: 23 de jan. de 2010.
- SIENA, O. **Método para avaliar progresso em direção ao desenvolvimento sustentável**. 2002. Tese (Doutorado) – Centro Tecnológico (CTC), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2002.

SILVA, H.V.O. **O uso de indicadores ambientais para aumentar a efetividade da gestão ambiental municipal.** Tese (Doutorado) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2008.

SILVA, P.M. **Modelo de transporte em rede com restrições de capacidade: estudo de alternativas na área de influência do gasoduto Bolívia-Brasil.** 2004. 125p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SUFRAMA (Superintendência da Zona Franca de Manaus) (2007). Disponível em: <<http://www.suframa.gov.br/>>. Acesso em: 11 de dezembro de 2007.

TACHIZAWI, T. **Gestão ambiental e responsabilidade social corporativa: estratégias de negócios focados na realidade brasileira.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

TUNSTALL, D. Developing environmental indicators: definitions, framework and issues. In: WORKSHOP ON GLOBAL ENVIRONMENTAL INDICATORS, Washington, DC, Dec. 7-8, 1992. **Proceedings...** Washington, DC: World Resources Institute, 1992.

UNEP & WTO (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME AND WORLD TOURISM ORGANIZATION). **Making tourism more sustainable: a guide for policy makers.** Paris-France, Madrid-Spain: 2005. 210p.

UNITED NATIONS DIVISION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies.** New York: CSD (Commission on Sustainable Development) Work Programme on Indicators of Sustainable Development, 2001. Disponível em: <<http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/isdms2001/isdms2001isd.htm#climate>>. Acesso em: 10/10/2009.

UNSD (United Nations Statistics Division). **Site da Divisão Estatística das Nações Unidas.** Disponível em: <<http://unstats.un.org/unsd/environmentgl/gesform.asp?getitem=745>>. Acesso em: 23 de janeiro de 2010.

VALLE, A. Indústria ficou insatisfeita. **A crítica**, Manaus, 8 jun. 2010. Economia, Caderno A, p.16.

VAZ, J.C. **Avaliando a gestão.** Instituto de Estudos, Formação e Assessoria em Políticas Sociais. Disponível em: <<http://www.polis.org.br/publicacoes.asp>>. Acesso em: 14 de maio de 2007.

VIEIRA, A. Petrobras investe R\$ 2 bi em dutos em São Paulo. **Valor Econômico**, 23 nov. 2006. Disponível em: <[http://www.power.inf.br/notic\\_dia.php?cod=3202](http://www.power.inf.br/notic_dia.php?cod=3202)>. Acesso em: 14 dez. 2006.

WATSON, A.; COLE, D. **LAC Indicators: an evaluation of progress and list of proposed indicators.** In: **Ideas for limits of acceptable change process.** Washington,

DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Recreation, Cultural Resources, and Wilderness Management Staff, 1992. Book Two. p. 65-84.

WITTINK, D.R.; HUBER, J.; ZANDAN, P.; JOHNSON, R.M. The number of levels effect in conjoint: where does it come from, and can it be eliminated? In: Sawtooth Software Conference Proceedings, M. Metegrano, ed. Ketchum. **Proceedings...**Idaho: Sawtooth Software, 1992.

WORLD RESOURCE INSTITUTE (WRI). **Apresenta informações sobre o aquecimento global, mudança climática, ecossistemas e mercado sustentável.** Disponível em:< <http://www.wri.org/>>. Acesso em: 23 de janeiro 2010.



**APÊNDICE A**  
**TÉCNICA DO INCIDENTE CRÍTICO**

## QUESTIONÁRIO UTILIZADO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS INCIDENTES CRÍTICOS

### 1. DADOS DA EMPRESA E DO ENTREVISTADO

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Setor da Empresa: \_\_\_\_\_

Cidade: \_\_\_\_\_

Nome do Entrevistado: \_\_\_\_\_

Cargo/Função do entrevistado: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_

Telefone: ( ) \_\_\_\_\_

Quais energéticos são utilizados no processo produtivo da empresa?

- GLP
- Gás Natural
- Óleo Combustível
- Carvão Mineral
- Bagaço de Cana
- Lenha e Carvão Vegetal
- Hidráulica
- Outras: \_\_\_\_\_

### 2. O GÁS NATURAL COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA

**Pergunta 1: Cite 10 fatores que influenciam/influenciariam positivamente no processo de adoção do gás natural na empresa.**

Por favor, **não utilize termos genéricos** como, por exemplo, “O que contribui para usar o gás natural é o fato de ser considerado um bom combustível”, neste caso, explicar porque é um bom combustível.

**Fatores que contribuem:**

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_
4. \_\_\_\_\_
5. \_\_\_\_\_
6. \_\_\_\_\_
7. \_\_\_\_\_
8. \_\_\_\_\_
9. \_\_\_\_\_
10. \_\_\_\_\_

**Pergunta 2: Cite 10 fatores que influenciam/influenciarão negativamente no processo de adoção do gás natural na empresa.**

**Fatores que dificultam:**

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_
4. \_\_\_\_\_
5. \_\_\_\_\_
6. \_\_\_\_\_
7. \_\_\_\_\_
8. \_\_\_\_\_
9. \_\_\_\_\_
10. \_\_\_\_\_

**PERCENTUAL DE CONSUMO DE ENERGÉTICOS DAS EMPRESAS PARTICIPANTES DA COLETA DE DADOS DA TÉCNICA DO INCIDENTE CRÍTICO**

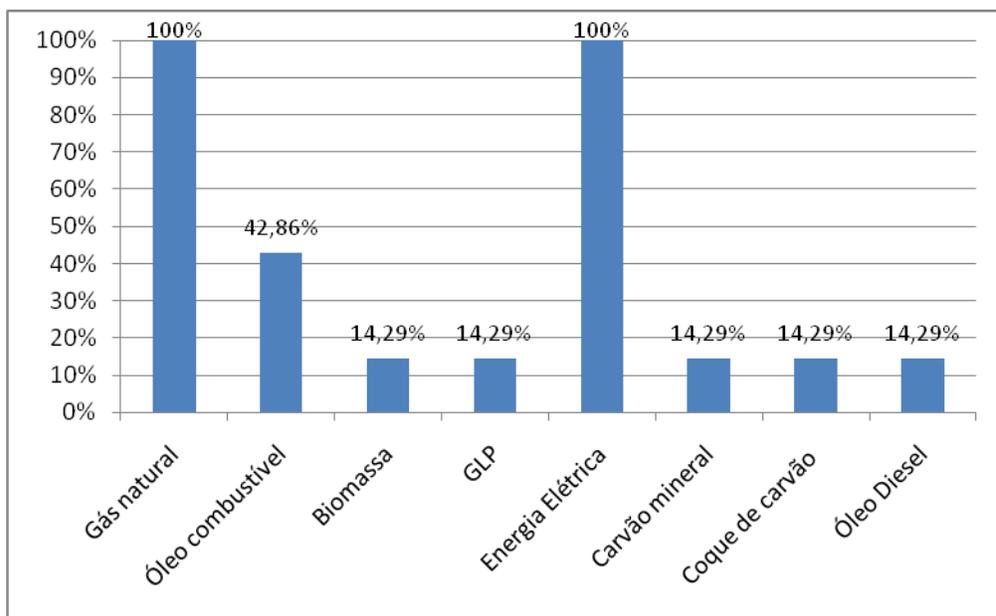


Gráfico A. 1 – Percentual de consumo de energéticos das empresas do Estado de SP

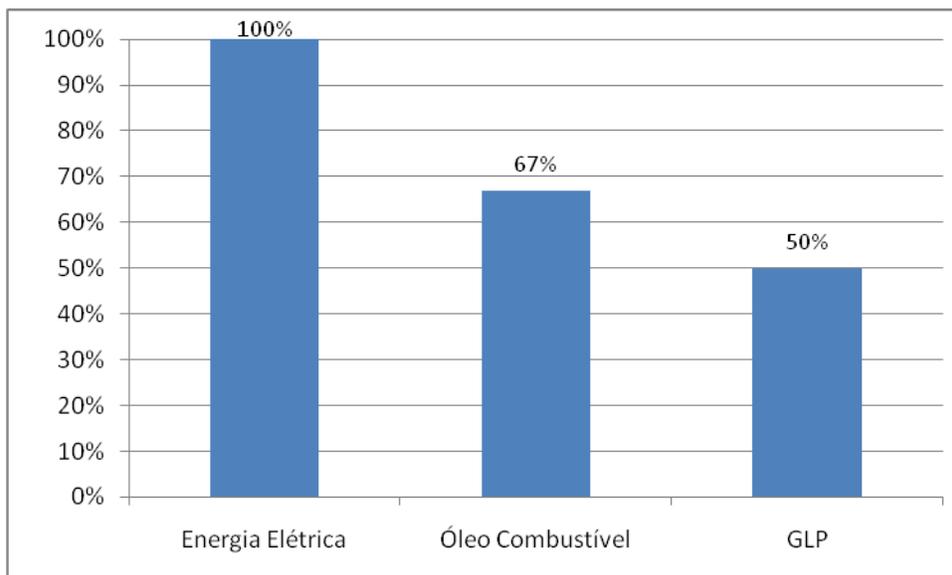


Gráfico A. 2 – Percentual de consumo de energéticos das empresas do Estado do AM

Os Incidentes críticos observados foram os seguintes:

Tabela A.1 – Incidentes críticos coletados na pesquisa de campo

Incidentes críticos	
1	Econômico
2	Menor impacto ao meio ambiente na sua obtenção
3	Menos poluente
4	Diversidade de uso
5	Não necessita de investimentos para adequação das máquinas ao uso do gás natural
6	Baixo impacto ambiental
7	Viabilidade econômica
8	Uniformidade no poder calorífico
9	Abastecimento contínuo
10	Não há necessidade de estoque
11	Processo mais limpo (operacionalmente e com relação a geração de resíduos)
12	Segurança (devido à baixa densidade, o gás se dissipa na atmosfera)
13	Investimento inicial com tubulação
14	Adequação das máquinas (adaptação do processo de óleo para gás)
15	Capacitação operacional (treinamento)
16	Adequação dos controles (operacional e de segurança)
17	Falta de conhecimento técnico da mão-de-obra
18	menos emissão de gases poluentes
19	diminuição do consumo de energia
20	redução do custo com combustível
21	Grande impacto ambiental por onde circundam os dutos
22	Preservação do meio ambiente devido à baixa emissão de poluentes
23	Diminuição do custo com manutenção
24	Prolonga a vida útil da máquina, pois evita corrosão
25	Não é necessário ter um sistema de armazenamento (praticidade)
26	Não há problemas de reposição, pois seu fornecimento é contínuo (praticidade)
27	Se houver vazamento, se dissipa rápido e facilmente (diferente do GLP, que é mais pesado)
28	É uma energia não renovável, ou seja, tem fim.
29	É difícil de ser liquidado
30	Em caso de incêndio, se não houver oxigênio suficiente, poderá gerar monóxido de carbono, altamente tóxico
31	Se houver um desastre natural, por exemplo, um terremoto, o combustível poderá faltar
32	Substituição parcial da energia elétrica, que nos é restringida pela concessionária
33	Possibilidade de expansão de nossa atual capacidade produtiva
34	Redução de custos diretos de produção
35	Alinhamento da política global de sustentabilidade da empresa, pela adoção de um combustível considerado mais limpo do que aqueles utilizados pelas usinas de geração de energia elétrica (principalmente de termoeletricas de óleo combustível do no Estado do Amazonas)
36	Facilidade de implantação de processos industriais que adotariam o gás natural
37	Alto investimento para a implantação de processos industriais que utilizem o gás natural
38	Seria mais um item a ser gerenciado dependente de nosso processo
39	Estaríamos limitados, no caso de problemas relacionados à falta de fornecimento do gás natural
40	Ampliação das medidas de segurança a serem adotadas
41	Necessidade de treinamento dos funcionários envolvidos
42	Possibilita benefícios ambientais por usar um combustível mais limpo, justificando aprovações/licenciamentos de novas ampliações com ganhos ambientais
43	Contribui para a redução de emissão de CO <sub>2</sub> - venda de créditos de carbono - ameniza mudanças climáticas
44	Instabilidade quanto à política de preços
45	Instabilidade relacionada com o abastecimento e a dependência do gás boliviano
46	A não disponibilidade na porta da fábrica
47	A dependência de um só combustível ou a manutenção de sistema alternativo (óleo)
48	Relevante redução do impacto ambiental, no que se refere a emissões atmosféricas resultantes da queima do gás natural, quando comparado à queima do óleo combustível (antiga fonte de combustível das caldeiras)
49	Praticidade e facilidade no uso do gás natural, ou seja, não requer logística para compra, estocagem, preparação para queima e não suja equipamentos.
50	O gás natural, em nosso caso, aumentou a eficiência energética das caldeiras, ou seja, com a mesma quantidade de calor (poder calorífico) fornecida pelos combustíveis conseguimos produzir mais vapor.
51	O gás natural pode conter pequena quantidade de enxofre em sua composição, não agride os periféricos das caldeiras. Desta forma, ajuda a reduzir custo com manutenções e aumenta a vida útil das mesmas.
52	Na época que realizamos a mudança do óleo combustível para o GN, o custo foi um dos fatores que também ajudaram na decisão. O gás natural tinha um custo menor que o óleo, assim, esta diferença de custo subsidiaram os ganhos operacionais e ambientais
53	A mudança do combustível possibilitou uma redução considerável nas emissões dos gases que causam o efeito estufa em nosso planeta (GEE). Este fato possibilita a obtenção de créditos de carbono, trazendo também possível retorno financeiro para a empresa.
54	Gastos para adequação das caldeiras para queimar o gás natural (ex.: compra de novos equipamentos, sistema de segurança, tubulações, etc.).
55	Risco com segurança, uma vez que o gás natural pode causar acidentes graves Ex. explosões)
56	Os contratos firmados com a distribuidora de gás natural são feitos por um período razoavelmente longo (5 anos), o que é um fator preocupante, uma vez que a economia do país não é muito estável, e, com isso, muita coisa pode acontecer ao longo deste período.
57	No nosso caso, o gás natural é monopolizado, ou seja, só conseguimos comprá-lo por meio de uma distribuidora. Desta forma, não temos força de negociação.
58	Na época de estiagem, ocorre uma certa instabilidade, ou seja, redução no fornecimento do gás natural. Por força legal, o gás é desviado para as usinas termoeletricas para geração de energia. Isso traz mudanças e mesmo segurança para o processo.
59	Baixa emissão de poluentes
60	Menor custo de manutenção em queimadores
61	Não necessita de armazenamento
62	Não necessita de transporte

63	Menor contaminação no produto final, devido menor resíduo na queima
64	Facilita o processo de compra, devido fatura pós consumo
65	Não necessita de sistema de aquecimento para utilização
66	Atração de investimentos
67	Custo do gás
68	Energia não renovável
69	Difícil detecção de vazamento
70	Por ser mais leve que o ar pode, em caso de vazamento, se acumular em locais elevados e fechados, com risco de explosão
71	Em caso de fogo, em locais com insuficiência de oxigênio, poderá ser gerado monóxido de carbono
72	Menor preço por ser mais barato que os outros combustíveis
73	Energia limpa
74	Prolonga a vida útil dos equipamentos
75	Eliminação do transporte
76	Eliminação da emissão de fuligem
77	Melhor controle no processo
78	Eliminação de estoque
79	Eliminação de mão de obra
80	Menor custo de manutenção
81	Fornecimento contínuo
82	Risco de explosão e incêndio
83	Vazamento em tubulações
84	Alto custo para implantação
85	Falta de redes para fornecimento
86	Poucas distribuidoras
87	Riscos de asfixia
88	É mais leve que o ar
89	É um combustível não renovável
90	Criação de cavidades no solo durante a extração
91	Menor custom
92	Menos poluente que diesel
93	Abastecimento automático (encanado)
94	Apresenta composição de queima mais constante
95	Não apresenta problema de condensação
96	Não necessita de controle de pressão freqüente
97	Não requer armazenamento de combustível
98	Maior comodidade no fornecimento
99	Economicamente é mais viável que o GLP
100	Permite reduzir a taxa de seguro patrimonial
101	Não há transferência de combustível entre caminhão e tanque
102	Diminui o fator de risco de acidentes
103	Possibilita uma combustão mais limpa
104	Só existe um único fornecedor
105	O poder calorífico é menor em relação ao GLP
106	Maior consumo devido menor poder calorífico
107	Fonte de energia não renovável
108	Altamente volátil em relação ao GLP
109	Maior volume de pressão em relação ao GLP
110	Gás natural não deixa resíduos de queima na ponta dos maçaricos do forno como GLP ou óleo por exemplo
111	Usamos o calor dos gases de escape do nosso forno para tocar um chiller de absorção. Esse reaproveitamento é muito interessante em termos econômicos (chillers elétricos consomem muita energia)
112	Nossa queima é feita com GN + oxigênio puro, o que aumenta significativamente a eficiência do nosso forno, diminuindo conseqüentemente o consumo de GN
113	A rede de distribuição de GN em nossa região é bem desenvolvida, o que facilita as instalações para o uso.
114	O GN é bem mais barato do que os demais combustíveis e até mesmo a energia elétrica (em termos da relação R\$/KW)
115	Falta de infra para distribuição em alguns locais (apesar de não ser esse o nosso caso).
116	Disponibilidade por proximidade de gasoduto
117	Baixa emissão de particulados (região saturada)
118	Qualidade do combustível para queima e durabilidade dos equipamentos
119	Custo inferior aos combustíveis concorrentes (fósseis)
120	Não necessidade de estocagem
121	Facilidade de instalação / substituição de combustíveis
122	Vulnerabilidade à política de fornecimento
123	Falta de mercado livre (como há para Energia Elétrica)
124	Custo baixo
125	Possuir fornecimento contínuo sem interrupções (continuidade operacional)
126	Ser um combustível mais limpo, emissões mais baixas tipo NOx, SOx
127	Não requisitar instalações complexas de alto investimento e manutenção elevada
128	Fácil manejo
129	Poder calorífico elevado
130	Custo elevado
131	Não ter fornecimento garantido (continuidade operacional)
132	Requisitar instalações complexas de alto investimento e manutenção elevada
133	Acesso difícil, no caso do gás natural falta de redes próximas de distribuição
134	Investimento alto, no caso do gás natural, instalação de city interno, tubulações compra de novos queimadores

Tabela A.2 - Atributos de valor com os seus respectivos grupos de incidentes críticos semelhantes (pesquisadora 1)

<b>Gastos e investimento</b>
Econômico
Não necessita de investimentos para adequação das máquinas ao uso do gás natural
Viabilidade econômica
Investimento inicial com tubulação
Diminuição do consumo de energia
Redução do custo com combustível
Diminuição do custo com manutenção
Redução de custos diretos de produção
Alto investimento para a implantação de processos industriais que utilizem o gás natural
Instabilidade quanto à política de preços
Na época que realizamos a mudança do óleo combustível para o GN, o custo foi um dos fatores que também ajudaram na decisão.
O gás natural tinha um custo menor que o óleo, assim, esta diferença de custo subsidiaram os ganhos operacionais e ambientais
Gastos para adequação das caldeiras para queimar o gás natural (ex.: compra de novos equipamentos, sistema de segurança, tubulações, etc.).
Menor custo de manutenção em queimadores
Atração de investimentos
Custo do gás
Menor preço por ser mais barato que os outros combustíveis
Eliminação de mão de obra
Menor custo de manutenção
Alto custo para implantação
Menor custo
Economicamente é mais viável que o GLP
Permite reduzir a taxa de seguro patrimonial
Usamos o calor dos gases de escape do nosso forno para tocar um chiller de absorção. Esse reaproveitamento é muito interessante em termos econômicos (chillers elétricos consomem muita energia)
O GN é bem mais barato do que os demais combustíveis e até mesmo a energia elétrica (em termos da relação R\$/KW)
Custo inferior aos combustíveis concorrentes (fósseis)
Custo baixo
Não requisitar instalações complexas de alto investimento e manutenção elevada
Custo elevado
Requisitar instalações complexas de alto investimento e manutenção elevada
Investimento alto, no caso do gás natural, instalação de city interno, tubulações compra de novos queimadores
<b>Impacto ambiental</b>
Menor impacto ao meio ambiente na sua obtenção
Menos poluente
Baixo impacto ambiental
Processo mais limpo (operacionalmente e com relação a geração de resíduos)
Menos emissão de gases poluentes
Grande impacto ambiental por onde circundam os dutos
Preservação do meio ambiente devido à baixa emissão de poluentes
Em caso de incêndio, se não houver oxigênio suficiente, poderá gerar monóxido de carbono, altamente tóxico
Alinhamento da política global de sustentabilidade da empresa, pela adoção de um combustível considerado mais limpo do que aqueles utilizados pelas usinas de geração de energia elétrica (principalmente de termoeletricas de óleo combustível do no Estado do Amazonas)
Possibilita benefícios ambientais por usar um combustível mais limpo, justificando aprovações/licenciamentos de novas ampliações com ganhos ambientais
Contribui para a redução de emissão de CO <sub>2</sub> - venda de créditos de carbono - ameniza mudanças climáticas
Relevante redução do impacto ambiental, no que se refere a emissões atmosféricas resultantes da queima do gás natural, quando comparado à queima do óleo combustível (antiga fonte de combustível das caldeiras)
A mudança do combustível possibilitou uma redução considerável nas emissões dos gases que causam o efeito estufa em nosso planeta (GEE). Este fato possibilita a obtenção de créditos de carbono, trazendo também possível retorno financeiro para a empresa.
Baixa emissão de poluentes
Menor contaminação no produto final, devido menor resíduo na queima
Energia limpa
Eliminação da emissão de fuligem
Criação de cavidades no solo durante a extração
Menos poluente que diesel
Possibilita uma combustão mais limpa
Baixa emissão de particulados (região saturada)
Ser um combustível mais limpo, emissões mais baixas tipo NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub>
<b>Flexibilidade</b>
Diversidade de uso
Adequação das máquinas (adaptação do processo de óleo para gás)
Adequação dos controles (operacional e de segurança)

(Continua)

(Continuação)

<p>Possibilidade de expansão de nossa atual capacidade produtiva  Facilidade de implantação de processos industriais que adotariam o gás natural  Seria mais um item a ser gerenciado dependente de nosso processo  A dependência de um só combustível ou a manutenção de sistema alternativo (óleo)  Praticidade e facilidade no uso do gás natural, ou seja, não requer logística para compra, estocagem, preparação para queima e não suja equipamentos.  Facilita o processo de compra, devido fatura pós consumo  Facilidade de instalação / substituição de combustíveis</p>
<p><b>Características técnicas</b></p> <p>Uniformidade no poder calorífico  Prolonga a vida útil da máquina, pois evita corrosão  O gás natural, em nosso caso, aumentou a eficiência energética das caldeiras, ou seja, com a mesma quantidade de calor (poder calorífico) fornecida pelos combustíveis conseguimos produzir mais vapor.  O gás natural pode conter pequena quantidade de enxofre em sua composição, não agride os periféricos das caldeiras. Desta forma, ajuda a reduzir custo com manutenções e aumenta a vida útil das mesmas.  Não necessita de sistema de aquecimento para utilização  Prolonga a vida útil dos equipamentos  Melhor controle no processo  Apresenta composição de queima mais constante  Não apresenta problema de condensação  Não necessita de controle de pressão frequente  O poder calorífico é menor em relação ao GLP  Maior consumo devido menor poder calorífico  Altamente volátil em relação ao GLP  Maior volume de pressão em relação ao GLP  Gás natural não deixa resíduos de queima na ponta dos maçaricos do forno como GLP ou óleo por exemplo  Nossa queima é feita com GN + oxigênio puro, o que aumenta significativamente a eficiência do nosso forno, diminuindo consequentemente o consumo de GN  Qualidade do combustível para queima e durabilidade dos equipamentos  Poder calorífico elevado</p>
<p><b>Disponibilidade</b></p> <p>Abastecimento contínuo  Não há problemas de reposição, pois seu fornecimento é contínuo (praticidade)  É uma energia não renovável, ou seja, tem fim.  Se houver um desastre natural, por exemplo, um terremoto, o combustível poderá faltar  Substituição parcial da energia elétrica, que nos é restringida pela concessionária  Estariamos limitados, no caso de problemas relacionados à falta de fornecimento do gás natural  Instabilidade relacionada com o abastecimento e a dependência do gás boliviano  A não disponibilidade na porta da fábrica  Os contratos firmados com a distribuidora de gás natural são feitos por um período razoavelmente longo (5 anos), o que é um fator preocupante, uma vez que a economia do país não é muito estável, e, com isso, muita coisa pode acontecer ao longo deste período.  No nosso caso, o gás natural é monopolizado, ou seja, só conseguimos comprá-lo por meio de uma distribuidora. Desta forma, não temos força de negociação.  Na época de estiagem, ocorre uma certa instabilidade, ou seja, redução no fornecimento do gás natural. Por força legal, o gás é desviado para as usinas termoeletricas para geração de energia. Isso traz mudanças e mesmo segurança para o processo.  Não necessita de transporte  Energia não renovável  Eliminação do transporte  Fornecimento contínuo  Falta de redes para fornecimento  Poucas distribuidoras  É um combustível não renovável  Abastecimento automático (encanado)  Maior comodidade no fornecimento  Não há transferência de combustível entre caminhão e tanque  Só existe um único fornecedor  Fonte de energia não renovável  A rede de distribuição de GN em nossa região é bem desenvolvida, o que facilita as instalações para o uso.  Falta de infra para distribuição em alguns locais (apesar de não ser esse o nosso caso).  Disponibilidade por proximidade de gasoduto  Vulnerabilidade à política de fornecimento  Falta de regulamentação nacional (Lei do Gás)  Falta de mercado livre (como há para Energia Elétrica)  Possuir fornecimento contínuo sem interrupções (continuidade operacional)  Não ter fornecimento garantido (continuidade operacional)  Acesso difícil, no caso do gás natural falta de redes próximas de distribuição</p>
<p><b>Estoque/Armazenamento</b></p> <p>Não há necessidade de estoque</p>

(Continua)

(Continuação)

<p>Não é necessário ter um sistema de armazenamento (praticidade)          Não necessita de armazenamento          Eliminação de estoque          Não requer armazenamento de combustível          Não necessidade de estocagem          Fácil manejo</p>
<p><b>Segurança</b></p> <p>Segurança (devido à baixa densidade, o gás se dissipa na atmosfera)          Se houver vazamento, se dissipa rápido e facilmente (diferente do GLP, que é mais pesado)          É difícil de ser liquidado          Ampliação das medidas de segurança a serem adotadas          Risco com segurança, uma vez que o gás natural pode causar acidentes graves. Ex. explosões          Difícil detecção de vazamento          Por ser mais leve que o ar pode, em caso de vazamento, se acumular em locais elevados e fechados, com risco de explosão          Em caso de fogo, em locais com insuficiência de oxigênio, poderá ser gerado monóxido de carbono          Risco de explosão e incêndio          Vazamento em tubulações          Riscos de asfixia          É mais leve que o ar          Diminui o fator de risco de acidentes</p>
<p><b>Necessidade de treinamento</b></p> <p>Capacitação operacional (treinamento)          Falta de conhecimento técnico da mão-de-obra          Necessidade de treinamento dos funcionários envolvidos</p>

Tabela A.3 - Atributos de valor com os seus respectivos grupos de incidentes críticos semelhantes (pesquisadora 2)

<p><b>Custo e preço</b></p> <p>Econômico          Não necessita de investimentos para adequação das máquinas ao uso do gás natural          Viabilidade econômica          Investimento inicial com tubulação          Redução do custo com combustível          Diminuição do custo com manutenção          Redução de custos diretos de produção          Alto investimento para a implantação de processos industriais que utilizem o gás natural          Instabilidade quanto à política de preços          Na época que realizamos a mudança do óleo combustível para o GN, o custo foi um dos fatores que também ajudaram na decisão.          O gás natural tinha um custo menor que o óleo, assim, esta diferença de custo subsidiaram os ganhos operacionais e ambientais          Gastos para adequação das caldeiras para queimar o gás natural (ex.: compra de novos equipamentos, sistema de segurança, tubulações, etc.).          Menor custo de manutenção em queimadores          Atração de investimentos          Custo do gás          Menor preço por ser mais barato que os outros combustíveis          Eliminação de mão de obra          Menor custo de manutenção          Alto custo para implantação          Menor custo          Economicamente é mais viável que o GLP          Permite reduzir a taxa de seguro patrimonial          Usamos o calor dos gases de escape do nosso forno para tocar um chiller de absorção. Esse reaproveitamento é muito interessante em termos econômicos (chillers elétricos consomem muita energia)          O GN é bem mais barato do que os demais combustíveis e até mesmo a energia elétrica (em termos da relação R\$/KW)          Custo inferior aos combustíveis concorrentes (fósseis)          Custo baixo          Não requisitar instalações complexas de alto investimento e manutenção elevada          Custo elevado          Requirer instalações complexas de alto investimento e manutenção elevada          Investimento alto, no caso do gás natural, instalação de city interno, tubulações compra de novos queimadores</p>
<p><b>Meio Ambiente</b></p> <p>Menor impacto ao meio ambiente na sua obtenção          Menos poluente          Baixo impacto ambiental          Processo mais limpo (operacionalmente e com relação a geração de resíduos)          Menos emissão de gases poluentes          Grande impacto ambiental por onde circundam os dutos          Preservação do meio ambiente devido à baixa emissão de poluentes</p>

(Continua)

(Continuação)

<p>Em caso de incêndio, se não houver oxigênio suficiente, poderá gerar monóxido de carbono, altamente tóxico</p> <p>Alinhamento da política global de sustentabilidade da empresa, pela adoção de um combustível considerado mais limpo do que aqueles utilizados pelas usinas de geração de energia elétrica (principalmente de termoeletricas de óleo combustível do no Estado do Amazonas)</p> <p>Possibilita benefícios ambientais por usar um combustível mais limpo, justificando aprovações/licenciamentos de novas ampliações com ganhos ambientais</p> <p>Contribui para a redução de emissão de CO<sub>2</sub> - venda de créditos de carbono - ameniza mudanças climáticas</p> <p>Relevante redução do impacto ambiental, no que se refere a emissões atmosféricas resultantes da queima do gás natural, quando comparado à queima do óleo combustível (antiga fonte de combustível das caldeiras)</p> <p>A mudança do combustível possibilitou uma redução considerável nas emissões dos gases que causam o efeito estufa em nosso planeta (GEE). Este fato possibilita a obtenção de créditos de carbono, trazendo também possível retorno financeiro para a empresa.</p> <p>Baixa emissão de poluentes</p> <p>Menor contaminação no produto final, devido menor resíduo na queima</p> <p>Energia limpa</p> <p>Eliminação da emissão de fuligem</p> <p>Criação de cavidades no solo durante a extração</p> <p>Menos poluente que diesel</p> <p>Possibilita uma combustão mais limpa</p> <p>Baixa emissão de particulados (região saturada)</p> <p>Ser um combustível mais limpo, emissões mais baixas tipo NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub></p>
<p><b>Eficiência Energética e poder calorífico</b></p> <p>Diversidade de uso</p> <p>Uniformidade no poder calorífico</p> <p>Diminuição do consumo de energia</p> <p>O gás natural, em nosso caso, aumentou a eficiência energética das caldeiras, ou seja, com a mesma quantidade de calor (poder calorífico) fornecida pelos combustíveis conseguimos produzir mais vapor.</p> <p>O poder calorífico é menor em relação ao GLP</p> <p>Maior consumo devido menor poder calorífico</p> <p>Nossa queima é feita com GN + oxigênio puro, o que aumenta significativamente a eficiência do nosso forno, diminuindo consequentemente o consumo de GN</p> <p>Poder calorífico elevado</p>
<p><b>Disponibilidade</b></p> <p>Abastecimento contínuo</p> <p>Não há problemas de reposição, pois seu fornecimento é contínuo (praticidade)</p> <p>É uma energia não renovável, ou seja, tem fim.</p> <p>Se houver um desastre natural, por exemplo, um terremoto, o combustível poderá faltar</p> <p>Substituição parcial da energia elétrica, que nos é restringida pela concessionária</p> <p>Estaríamos limitados, no caso de problemas relacionados à falta de fornecimento do gás natural</p> <p>Inestabilidade relacionada com o abastecimento e a dependência do gás boliviano</p> <p>A não disponibilidade na porta da fábrica</p> <p>Os contratos firmados com a distribuidora de gás natural são feitos por um período razoavelmente longo (5 anos), o que é um fator preocupante, uma vez que a economia do país não é muito estável, e, com isso, muita coisa pode acontecer ao longo deste período.</p> <p>No nosso caso, o gás natural é monopolizado, ou seja, só conseguimos comprá-lo por meio de uma distribuidora. Desta forma, não temos força de negociação.</p> <p>Na época de estiagem, ocorre uma certa instabilidade, ou seja, redução no fornecimento do gás natural. Por força legal, o gás é desviado para as usinas termoeletricas para geração de energia. Isso traz mudanças e mesmo segurança para o processo.</p> <p>Não necessita de transporte</p> <p>Energia não renovável</p> <p>Eliminação do transporte</p> <p>Fornecimento contínuo</p> <p>Falta de redes para fornecimento</p> <p>Poucas distribuidoras</p> <p>É um combustível não renovável</p> <p>Maior comodidade no fornecimento</p> <p>Não há transferência de combustível entre caminhão e tanque</p> <p>Só existe um único fornecedor</p> <p>Fonte de energia não renovável</p> <p>A rede de distribuição de GN em nossa região é bem desenvolvida, o que facilita as instalações para o uso.</p> <p>Falta de infra para distribuição em alguns locais (apesar de não ser esse o nosso caso).</p> <p>Disponibilidade por proximidade de gasoduto</p> <p>Vulnerabilidade à política de fornecimento</p> <p>Falta de regulamentação nacional (Lei do Gás)</p> <p>Falta de mercado livre (como há para Energia Elétrica)</p> <p>Possuir fornecimento contínuo sem interrupções (continuidade operacional)</p> <p>Não ter fornecimento garantido (continuidade operacional)</p> <p>Acesso difícil, no caso do gás natural falta de redes próximas de distribuição</p>
<p><b>Estoque e armazenamento</b></p>

(Continua)

(Continuação)

<p>Não há necessidade de estoque          Não é necessário ter um sistema de armazenamento (praticidade)          Praticidade e facilidade no uso do gás natural, ou seja, não requer logística para compra, estocagem, preparação para queima e não suja equipamentos.          Não necessita de armazenamento          Eliminação de estoque          Abastecimento automático (encanado)          Não requer armazenamento de combustível          Não necessidade de estocagem          Fácil manejo</p>
<p><b>Segurança</b></p> <p>Segurança (devido à baixa densidade, o gás se dissipa na atmosfera)          Se houver vazamento, se dissipa rápido e facilmente (diferente do GLP, que é mais pesado)          É difícil de ser liquidado          Ampliação das medidas de segurança a serem adotadas          Risco com segurança, uma vez que o gás natural pode causar acidentes graves Ex. explosões)          Difícil detecção de vazamento          Por ser mais leve que o ar pode, em caso de vazamento, se acumular em locais elevados e fechados, com risco de explosão          Em caso de fogo, em locais com insuficiência de oxigênio, poderá ser gerado monóxido de carbono          Risco de explosão e incêndio          Vazamento em tubulações          Riscos de asfixia          É mais leve que o ar          Diminui o fator de risco de acidentes          Altamente volátil em relação ao GLP</p>
<p><b>Adaptação</b></p> <p>Adequação das máquinas (adaptação do processo de óleo para gás)          Adequação dos controles (operacional e de segurança)          Possibilidade de expansão de nossa atual capacidade produtiva          Facilidade de implantação de processos industriais que adotariam o gás natural          Seria mais um item a ser gerenciado dependente de nosso processo          A dependência de um só combustível ou a manutenção de sistema alternativo (óleo)          Facilita o processo de compra, devido fatura pós consumo          Facilidade de instalação / substituição de combustíveis</p>
<p><b>Capacitação</b></p> <p>Capacitação operacional (treinamento)          Falta de conhecimento técnico da mão-de-obra          Necessidade de treinamento dos funcionários envolvidos</p>
<p><b>Características tecnológicas</b></p> <p>Prolonga a vida útil da máquina, pois evita corrosão          O gás natural pode conter pequena quantidade de enxofre em sua composição, não agride os periféricos das caldeiras. Desta forma, ajuda a reduzir custo com manutenções e aumenta a vida útil das mesmas.          Não necessita de sistema de aquecimento para utilização          Prolonga a vida útil dos equipamentos          Melhor controle no processo          Apresenta composição de queima mais constante          Não apresenta problema de condensação          Não necessita de controle de pressão frequente          Maior volume de pressão em relação ao GLP          Gás natural não deixa resíduos de queima na ponta dos maçaricos do forno como GLP ou óleo por exemplo          Qualidade do combustível para queima e durabilidade dos equipamentos</p>



**APÊNDICE B**  
**ANÁLISE CONJUNTA**



## QUESTIONÁRIO DA ANÁLISE CONJUNTA

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



Cidade: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
 Nome do entrevistado: \_\_\_\_\_  
 Cargo/Função do entrevistado: \_\_\_\_\_  
 Empresa: \_\_\_\_\_ Área da empresa que trabalha: \_\_\_\_\_  
 E-mail: \_\_\_\_\_ Telefone: ( ) \_\_\_\_\_

### INSTRUÇÕES

Este questionário contempla duas fases: (1) Determinar a ordem de preferência dos principais atributos envolvidos no processo de adoção do gás natural na empresa; (2) Ordenar os cartões com diferentes cenários para a escolha do gás natural como energético. Para isso:

- 1) Leia atentamente os atributos apresentados a seguir:

Atributos	Níveis
<b>Impacto ao meio ambiente</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Baixo impacto ao meio ambiente (emissão de poluentes, impacto ambiental na produção e transporte)</li> <li>2 Alto impacto ao meio ambiente</li> </ol>
<b>Flexibilidade</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)</li> <li>2 Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e/ou do combustível aos processos da fábrica)</li> </ol>
<b>Disponibilidade</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Fornecimento garantido</li> <li>2 Fornecimento com riscos de corte</li> <li>3 Não possui fornecimento por gasoduto</li> </ol>
<b>Estoque</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Dispensa estocagem</li> <li>2 Necessita de estocagem</li> </ol>
<b>Condições operacionais</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Desempenho do equipamento/energético favorável para a aplicação industrial (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica).</li> <li>2 Desempenho do equipamento/energético desfavorável</li> </ol>
<b>Treinamento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Dispensa treinamento para operar com o gás natural</li> <li>2 Necessita de treinamento para operar com o gás natural</li> </ol>

- 2) Entre os principais atributos envolvidos no processo de adoção do gás natural na empresa enumere (1 a 6) por ordem de preferência aqueles que o (a) senhor (a) considera mais importante:

\_\_\_\_\_ **Impacto ao Meio Ambiente**

\_\_\_\_\_ **Flexibilidade**

\_\_\_\_\_ **Disponibilidade**

\_\_\_\_\_ **Estoque**

\_\_\_\_\_ **Condições Operacionais**

\_\_\_\_\_ **Treinamento**

- 3) A seguir serão apresentados alguns cartões. Cada cartão apresenta um **cenário fictício** criado a partir da combinação de atributos considerados relevantes para a adoção do gás natural na empresa.

Considerando suas preferências em relação aos principais atributos apresentados no item 2), ordene os cartões de maneira que o primeiro cartão represente sua primeira opção de escolha, o segundo cartão represente sua segunda opção de escolha e assim sucessivamente, até o último, que representará sua menor preferência.

<b>Ordem</b>	<b>Cartão</b>	<b>Ordem</b>	<b>Cartão</b>	<b>Ordem</b>	<b>Cartão</b>
<b>1</b>		<b>7</b>		<b>13</b>	
<b>2</b>		<b>8</b>		<b>14</b>	
<b>3</b>		<b>9</b>		<b>15</b>	
<b>4</b>		<b>10</b>		<b>16</b>	
<b>5</b>		<b>11</b>		<b>17</b>	
<b>6</b>		<b>12</b>		<b>18</b>	

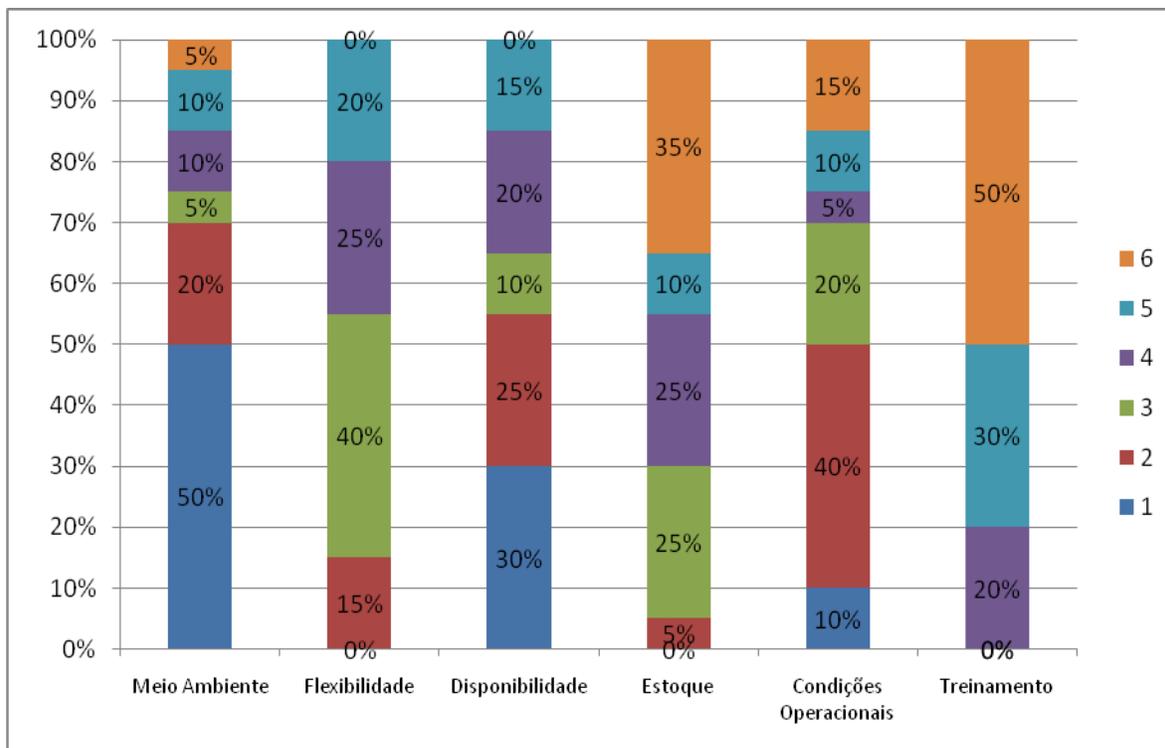


Gráfico B.1 – Preferência dos atributos informada pelos participantes de SP na coleta de dados preliminar

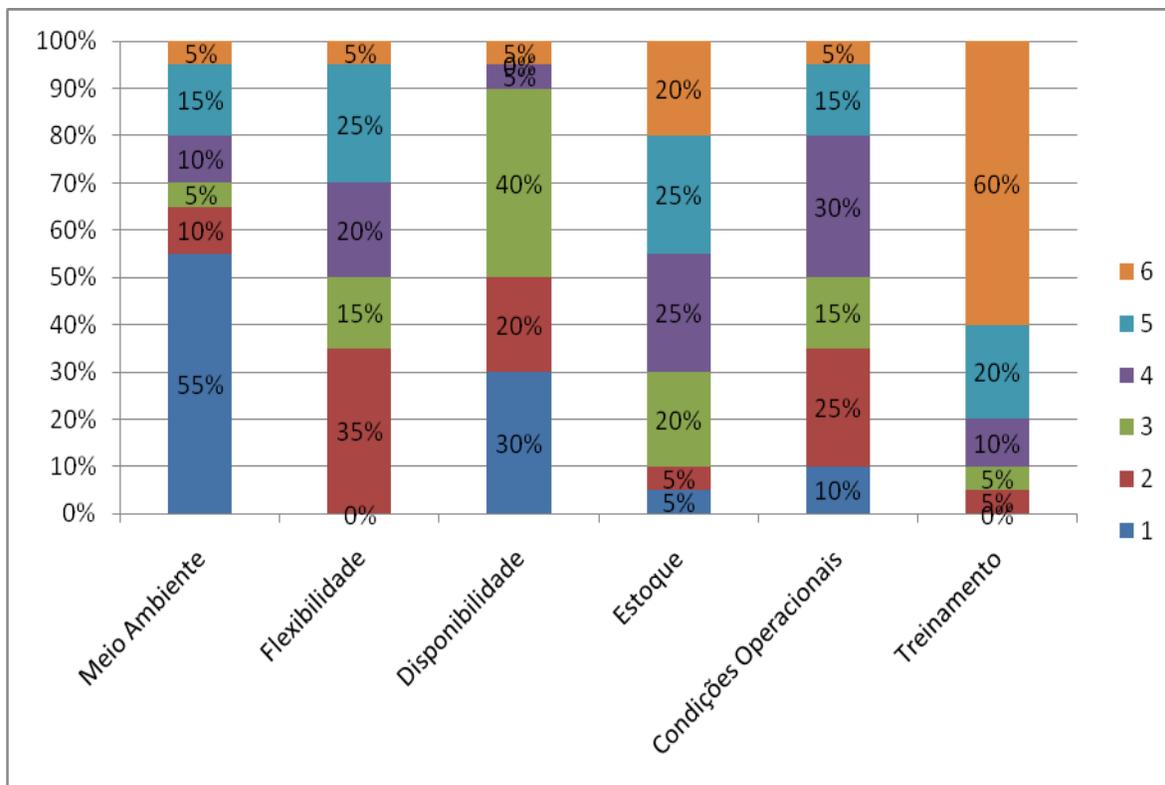


Gráfico B.2 – Preferência dos atributos informada pelos participantes do AM na coleta de dados preliminar

## Passo a passo para geração dos cartões no SPSS

### A) Inserindo os nomes dos atributos

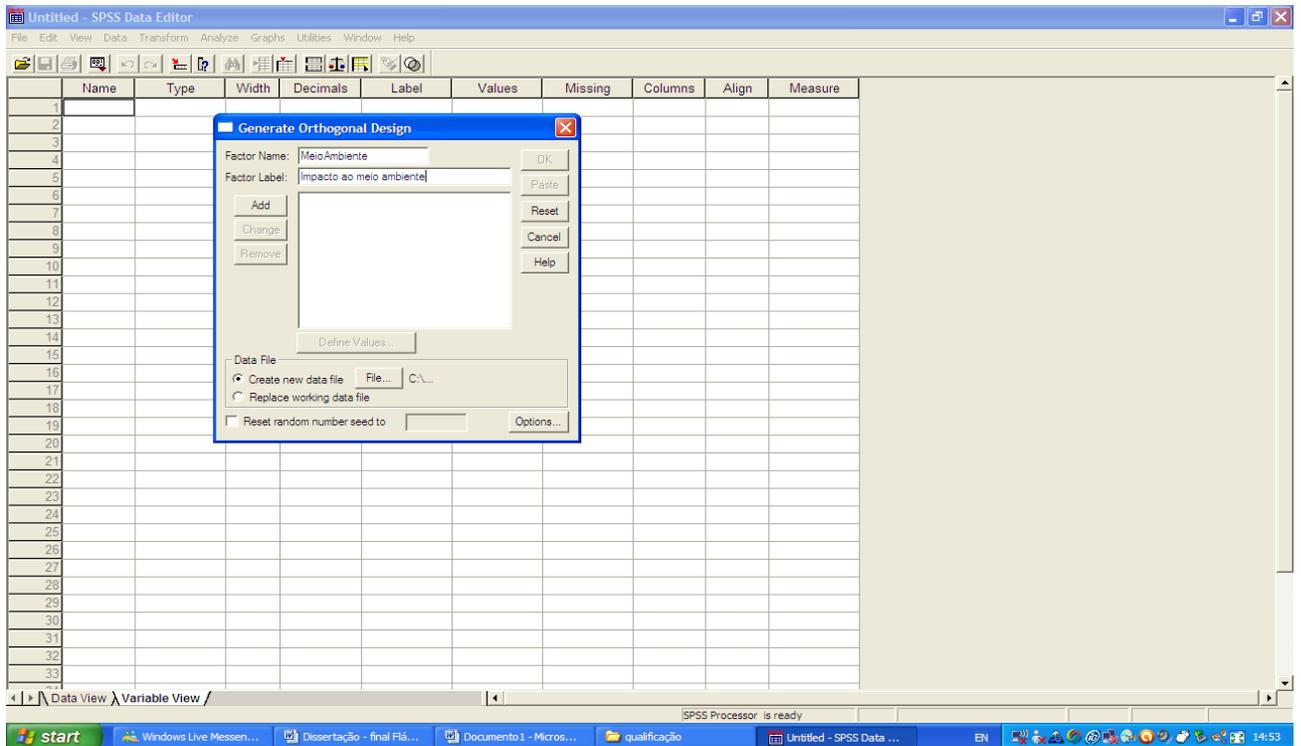


Figura B.1 - Inclusão do fator “impacto ao meio ambiente” no SPSS 13.0

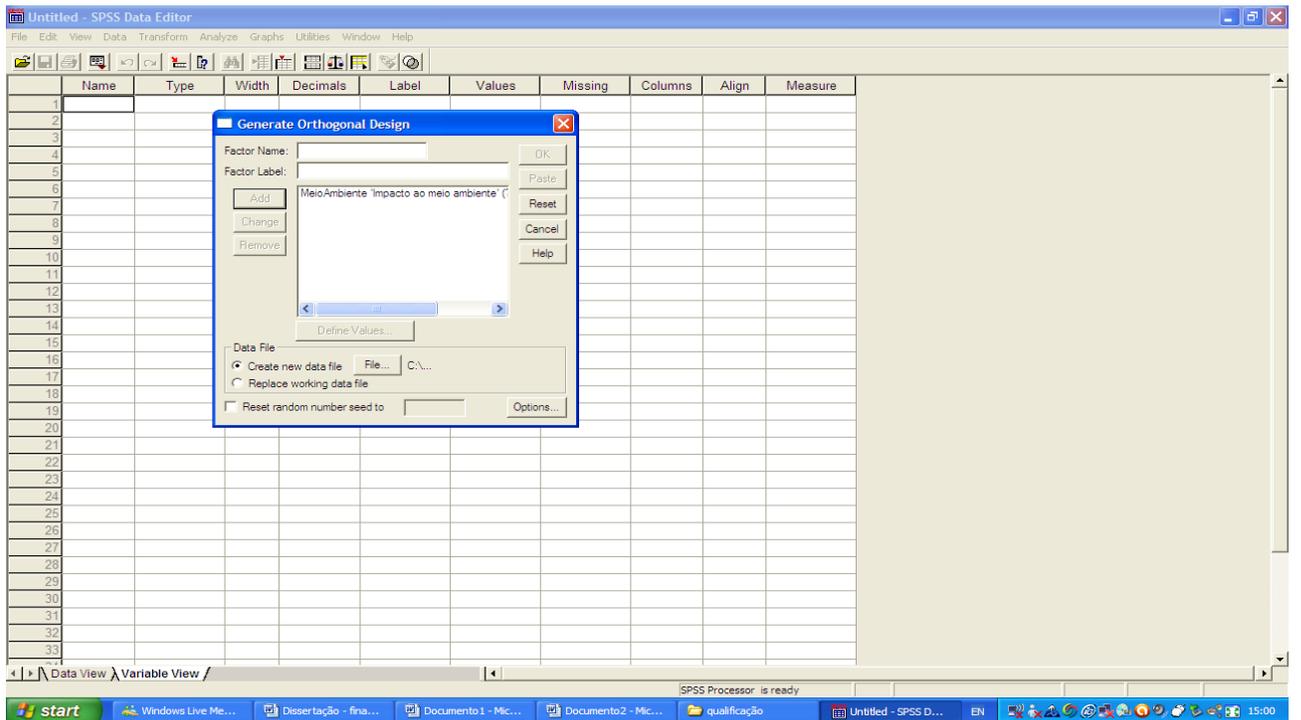


Figura B.2 - Inclusão do fator “impacto ao meio ambiente” no SPSS 13.0

## B) Adicionando os níveis de cada atributo

### Impacto ao meio ambiente

1. Baixo impacto ao meio ambiente
2. Alto impacto ao meio ambiente (emissão de poluentes, impacto ambiental na produção e transporte)

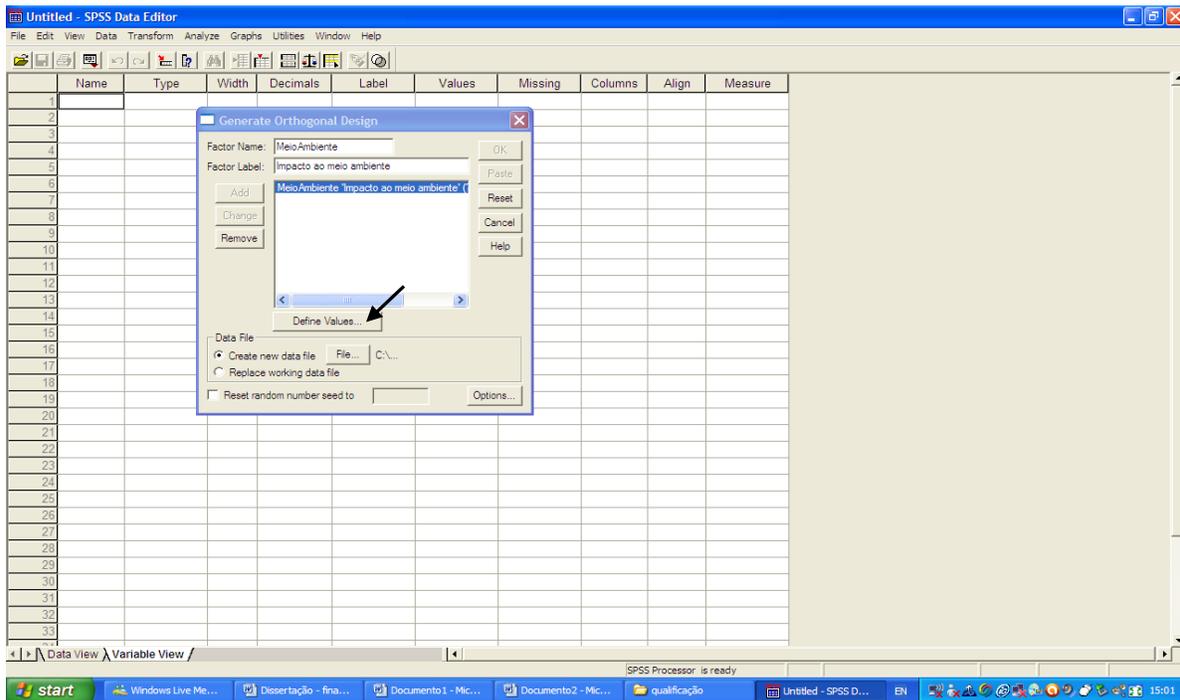
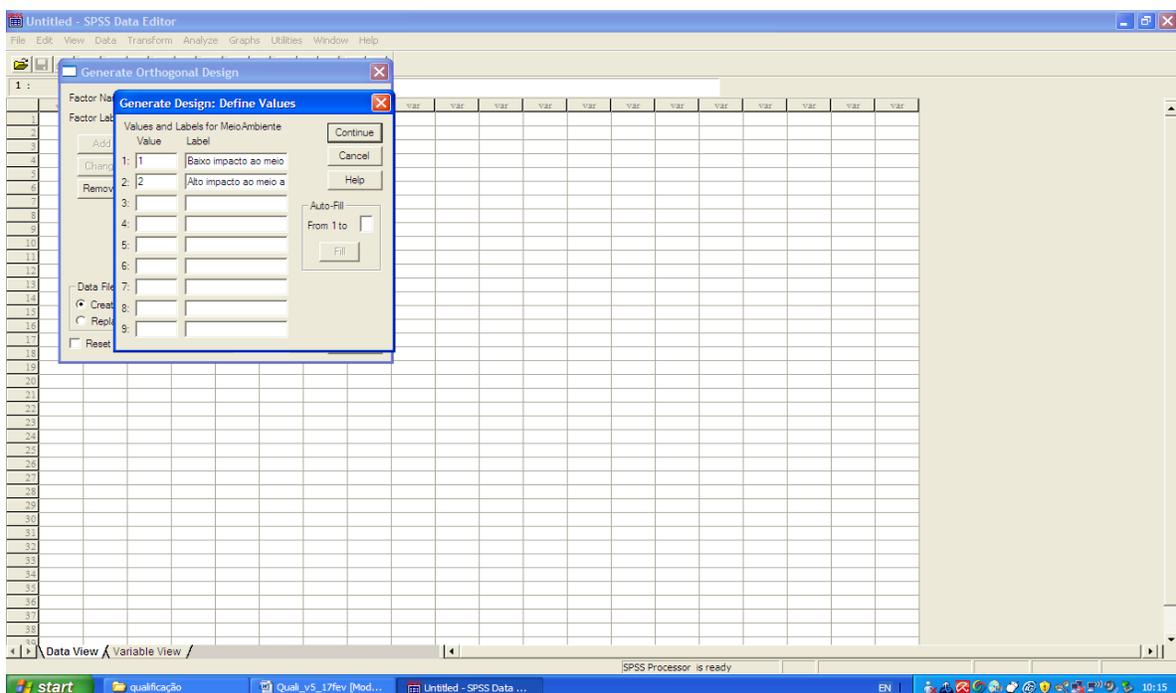


Figura B.3 - Adicionando os níveis do fator “impacto ao meio ambiente” no SPSS 13.0



### Flexibilidade

1. Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)
2. Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e/ou do combustível aos processos da fábrica)

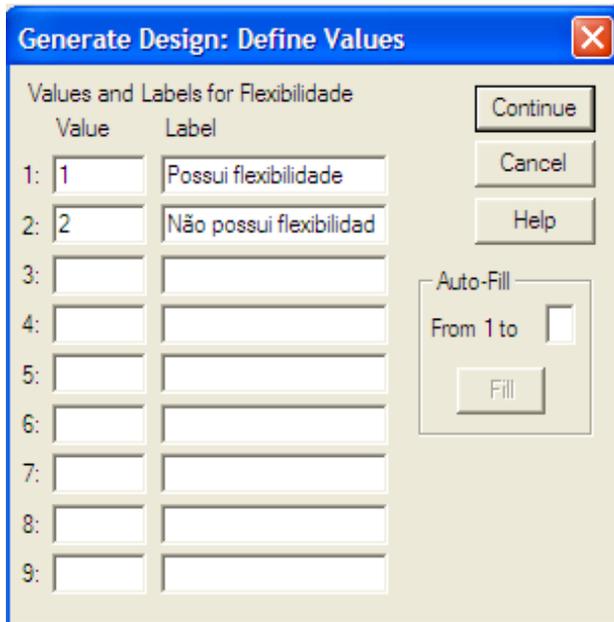


Figura B.4 - Adicionando os níveis do fator “flexibilidade” no SPSS 13.0

### Disponibilidade

1. Fornecimento garantido
2. Fornecimento com riscos de corte
3. Não possui fornecimento por gasoduto

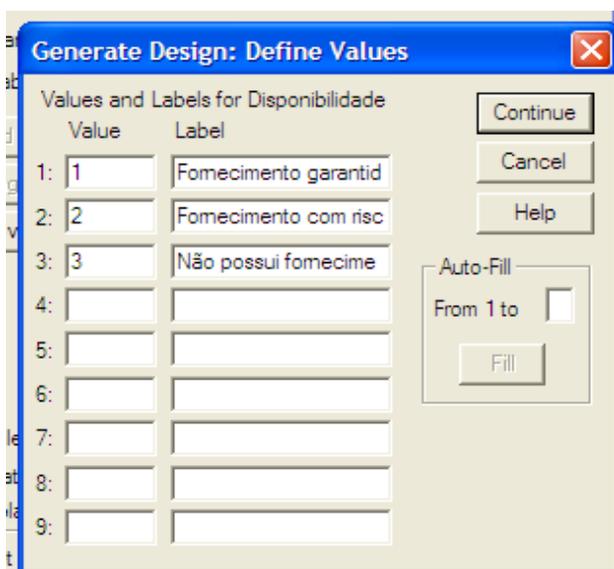


Figura B.5 - Adicionando os níveis do fator “disponibilidade” no SPSS 13.0

## Estoque

1. Dispensa estocagem
2. Necessita de estocagem

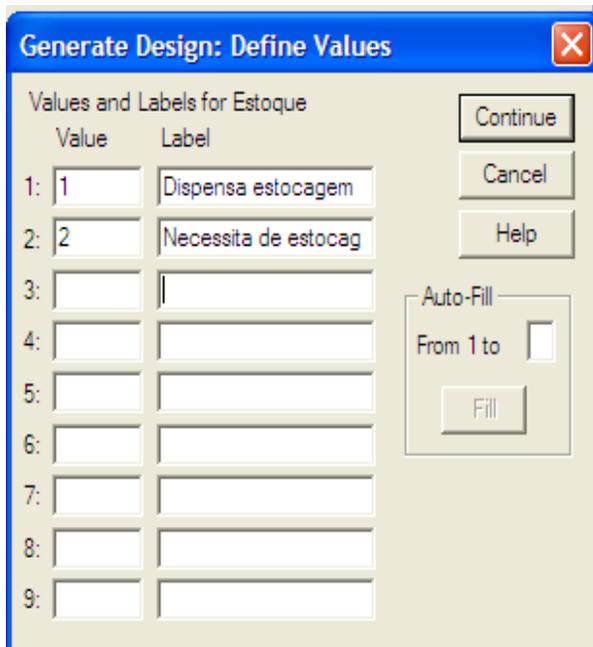


Figura B.6 - Adicionando os níveis do fator “estoque” no SPSS 13.0

## Condições operacionais

1. Desempenho do equipamento/energético favorável para a aplicação industrial (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)
2. Desempenho do equipamento/energético desfavorável

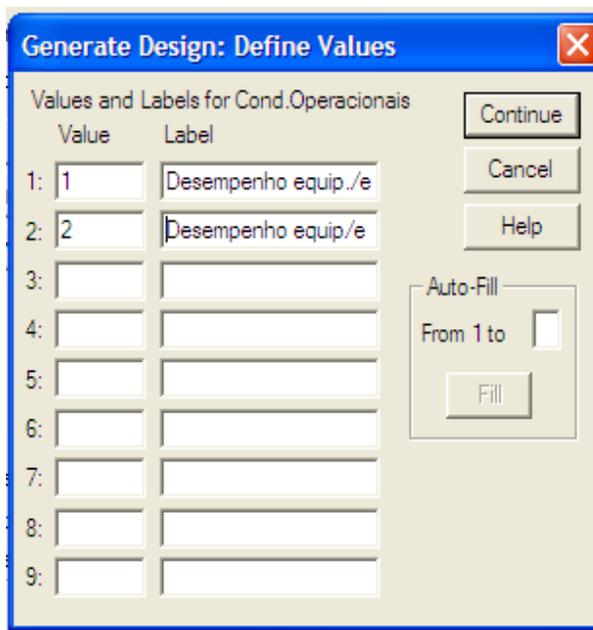


Figura B.7 - Adicionando os níveis do fator “condições operacionais” no SPSS 13.0

### Treinamento

1. Dispensa treinamento para operar com o gás natural
2. Necessita de treinamento para operar com o gás natural

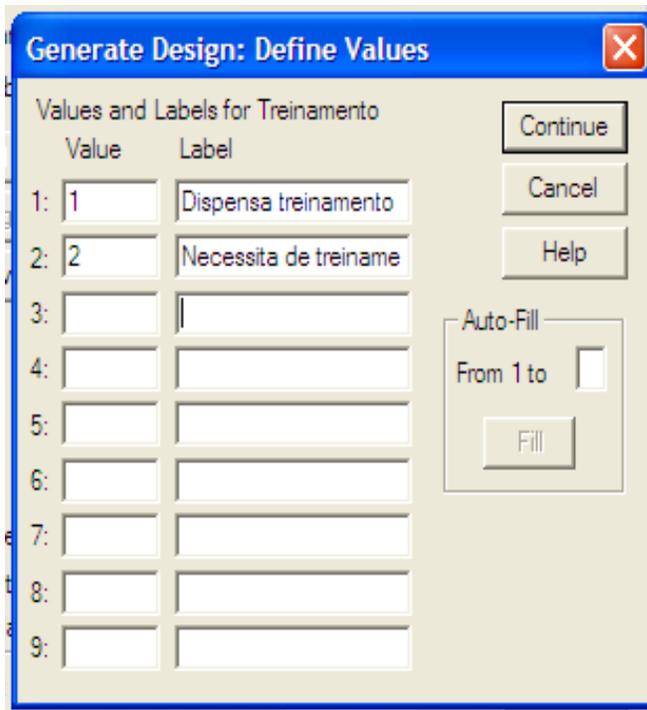


Figura B.8 - Adicionando os níveis do fator "treinamento" no SPSS 13.0

### C) Delineamento fatorial fracionário no SPSS 13.0, com estímulos de validação

#### Inclusão dos fatores e níveis

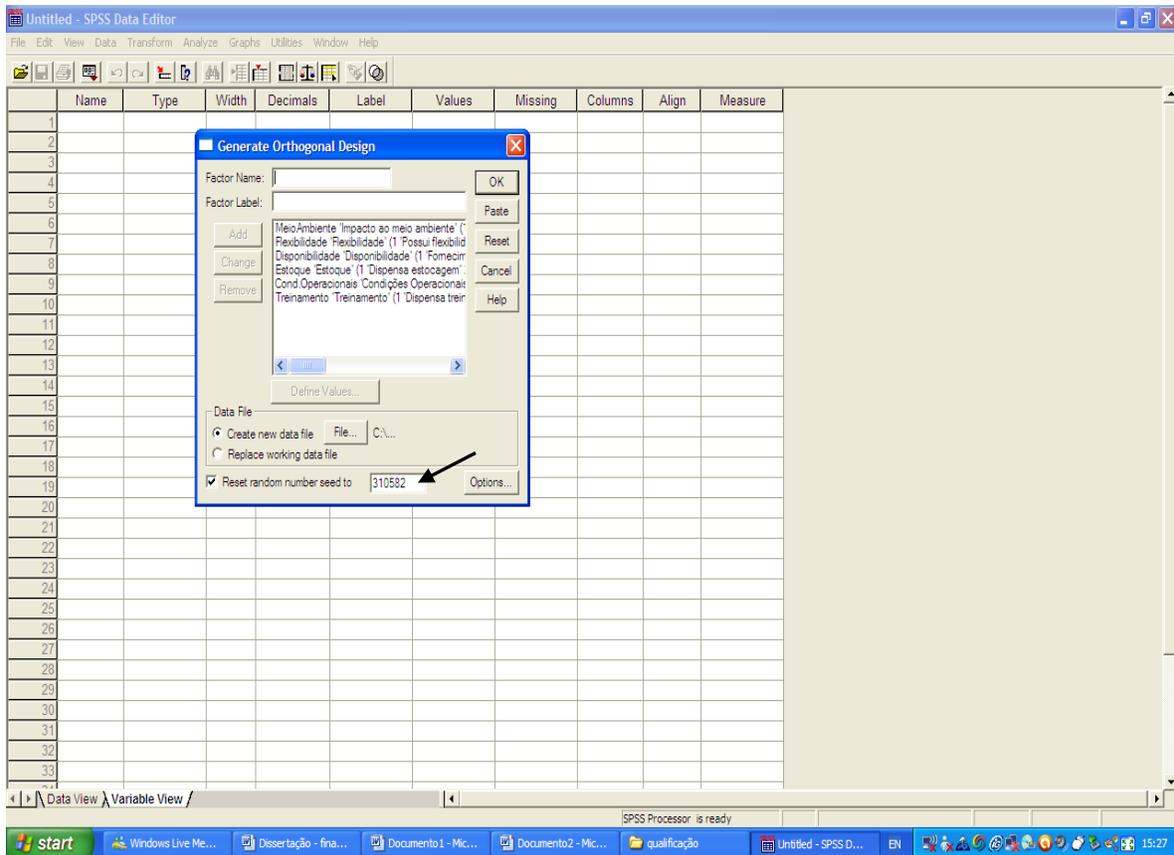


Figura B.9 – Delineamento fatorial fracionário no SPSS 13.0, com estímulos de validação

A opção “reset random number seed to” foi selecionada para possibilitar a geração dos mesmos cartões pelo planejamento fatorial fracionário sempre que o programa for rodado. Para isso, será necessário inserir um número (senha) que deverá ser lembrado.

## Definição da amostra holdout

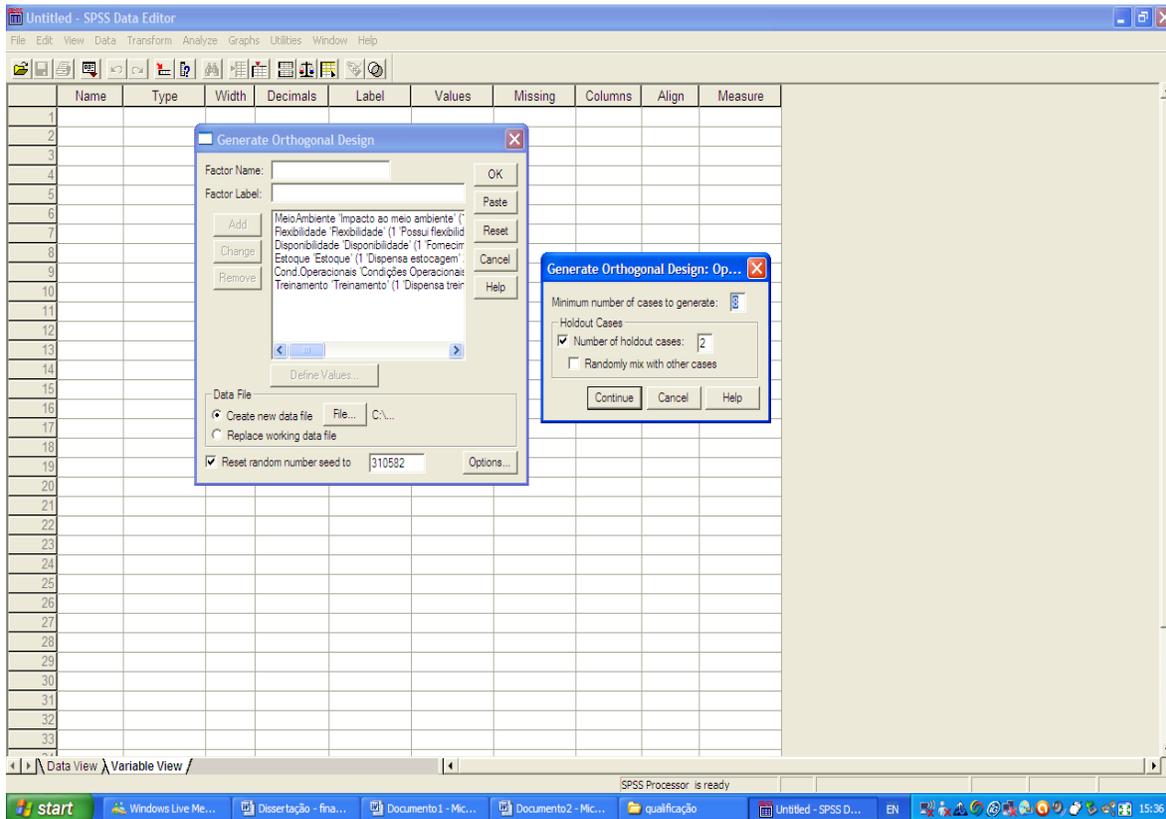


Figura B.10 – Delineamento fatorial fracionário com estímulos de validação

Após a inserção da senha, deve-se introduzir o número mínimo de estímulos a serem gerados. De acordo com Hair *et al.* (2005), se a análise é executada no nível individual, o número mínimo de estímulos que devem ser avaliados por um respondente será calculado da seguinte forma:

$$\text{Número mínimo de estímulos} = \text{Número total de níveis por todos os fatores} - \text{Número de fatores} + 1 = 13 - 6 + 1 = 9$$

Após inserir o número mínimo de estímulos e número de casos holdout (estímulos de validação), deve-se selecionar o link “continue” da caixa de diálogo “Generate Orthogonal Design: Options” do programa e, em seguida, o link “OK” da caixa de diálogo “Generate Orthogonal Design”. Se o resultado do delineamento fatorial fracionário não aparecer automaticamente, recomenda-se ir à barra de menus do Editor de Dados (Data Editor) e selecionar o menu “File” para abrir um arquivo com o nome ORTHO.SAV.

Com todos esses procedimentos, é possível visualizar na tela do SPSS o resultado da Figura B.11.

	MeioAmbiente	Flexibilidade	Disponibilidade	Estoque	Cond.Operacionais	Treinamento	STATUS	CARD
1	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	0	1
2	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	0	2
3	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0	3
4	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0	4
5	2,00	2,00	3,00	1,00	2,00	2,00	0	5
6	1,00	2,00	3,00	2,00	2,00	1,00	0	6
7	2,00	1,00	3,00	2,00	1,00	1,00	0	7
8	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	0	8
9	1,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,00	0	9
10	2,00	1,00	1,00	2,00	1,00	2,00	0	10
11	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00	0	11
12	1,00	1,00	3,00	1,00	1,00	2,00	0	12
13	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	0	13
14	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	0	14
15	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	1,00	0	15
16	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0	16
17	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00	1	17
18	2,00	2,00	3,00	2,00	2,00	1,00	1	18
19								
20								
21								
22								

Figura B.11 - Resultado do delineamento fatorial fracionário (plano ortogonal)

Se o ícone (Value Labels) semelhante a uma etiqueta (disponível na barra de ferramentas) for acionado, serão visualizadas as denominações dos níveis relacionados aos valores apresentados na Figura B.11. Essas denominações podem ser visualizadas pela Figura B.12.

	MeioAmbiente	Flexibilidade	Disponibilidade	Estoque	Cond.Operacionais	Treinamento	STATUS	CARD
1	Alto impacto ao	Possui flexibilidade	Fornecimento com riscos de corte	Dispensa estocagem	Desempenho equip./energético desfavorável	Dispensa treinamento	Design	1
2	Baixo impacto ao	Possui flexibilidade	Fornecimento garantido	Necessita de estocagem	Desempenho equip./energético desfavorável	Dispensa treinamento	Design	2
3	Baixo impacto ao	Não possui flexibilid	Fornecimento com riscos de corte	Dispensa estocagem	Desempenho equip./energético favorável	Dispensa treinamento	Design	3
4	Baixo impacto ao	Possui flexibilidade	Fornecimento com riscos de corte	Necessita de estocagem	Desempenho equip./energético desfavorável	Necessita de treiname	Design	4
5	Alto impacto ao	Não possui flexibilid	Não possui fornecimento por gasoduto	Dispensa estocagem	Desempenho equip./energético desfavorável	Necessita de treiname	Design	5
6	Baixo impacto ao	Não possui flexibilid	Não possui fornecimento por gasoduto	Necessita de estocagem	Desempenho equip./energético desfavorável	Dispensa treinamento	Design	6
7	Alto impacto ao	Possui flexibilidade	Não possui fornecimento por gasoduto	Necessita de estocagem	Desempenho equip./energético favorável	Dispensa treinamento	Design	7
8	Alto impacto ao	Não possui flexibilid	Fornecimento com riscos de corte	Necessita de estocagem	Desempenho equip./energético favorável	Necessita de treiname	Design	8
9	Baixo impacto ao	Não possui flexibilid	Fornecimento garantido	Necessita de estocagem	Desempenho equip./energético desfavorável	Necessita de treiname	Design	9
10	Alto impacto ao	Possui flexibilidade	Fornecimento garantido	Necessita de estocagem	Desempenho equip./energético favorável	Necessita de treiname	Design	10
11	Baixo impacto ao	Não possui flexibilid	Fornecimento garantido	Dispensa estocagem	Desempenho equip./energético favorável	Necessita de treiname	Design	11
12	Baixo impacto ao	Possui flexibilidade	Não possui fornecimento por gasoduto	Dispensa estocagem	Desempenho equip./energético favorável	Necessita de treiname	Design	12
13	Alto impacto ao	Não possui flexibilid	Fornecimento garantido	Necessita de estocagem	Desempenho equip./energético favorável	Dispensa treinamento	Design	13
14	Alto impacto ao	Possui flexibilidade	Fornecimento garantido	Dispensa estocagem	Desempenho equip./energético desfavorável	Necessita de treiname	Design	14
15	Alto impacto ao	Não possui flexibilid	Fornecimento garantido	Dispensa estocagem	Desempenho equip./energético desfavorável	Dispensa treinamento	Design	15
16	Baixo impacto ao	Possui flexibilidade	Fornecimento garantido	Dispensa estocagem	Desempenho equip./energético favorável	Dispensa treinamento	Design	16
17	Alto impacto ao	Não possui flexibilid	Fornecimento garantido	Necessita de estocagem	Desempenho equip./energético favorável	Necessita de treiname	Holdout	17
18	Alto impacto ao	Não possui flexibilid	Não possui fornecimento por gasoduto	Necessita de estocagem	Desempenho equip./energético desfavorável	Dispensa treinamento	Holdout	18
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								

Figura B.12 - Resultado do delineamento fatorial fracionário com os níveis detalhados

Os estímulos (cartões) gerados pelo planejamento fatorial fracionário da função ORTHOGONAL DESIGN do software estatístico SPSS, versão 13.0 são:

Plancards:

### Cartão 1

**Impacto ao meio ambiente:** Alto impacto ao meio ambiente (emissão de poluentes, impacto ambiental na produção e transporte)

**Flexibilidade:** Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)

**Disponibilidade:** Fornecimento com riscos de corte

**Estoque:** Dispensa estocagem

**Condições Operacionais:** Desempenho equipamento/energético desfavorável (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)

**Treinamento:** Dispensa treinamento para operar com o gás natural

### Cartão 2

**Impacto ao meio ambiente:** Baixo impacto ao meio ambiente (emissão de poluentes, impacto ambiental na produção e transporte)

**Flexibilidade:** Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)

**Disponibilidade:** Fornecimento garantido

**Estoque:** Necessita de estocagem

**Condições Operacionais:** Desempenho equipamento/energético desfavorável (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)

**Treinamento:** Dispensa treinamento para operar com o gás natural

### Cartão 3

**Impacto ao meio ambiente:** Baixo impacto ao meio ambiente (emissão de poluentes, impacto ambiental na produção e transporte)

**Flexibilidade:** Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)

**Disponibilidade:** Fornecimento com riscos de corte

**Estoque:** Dispensa estocagem

**Condições Operacionais:** Desempenho equipamento/energético favorável (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)

**Treinamento:** Dispensa treinamento para operar com o gás natural

### Cartão 4

**Impacto ao meio ambiente:** Baixo impacto ao meio ambiente (emissão de poluentes, impacto ambiental na produção e transporte)

**Flexibilidade:** Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)

**Disponibilidade:** Fornecimento com riscos de corte

**Estoque:** Necessita de estocagem

**Condições Operacionais:** Desempenho equipamento/energético desfavorável (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)

**Treinamento:** Necessita de treinamento para operar com o gás natural

#### Cartão 5

**Impacto ao meio ambiente:** Alto impacto ao meio ambiente (emissão de poluentes, impacto ambiental na produção e transporte)

**Flexibilidade:** Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)

**Disponibilidade:** Não possui fornecimento por gasoduto

**Estoque:** Dispensa estocagem

**Condições Operacionais:** Desempenho equipamento/energético desfavorável (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)

**Treinamento:** Necessita de treinamento para operar com o gás natural

#### Cartão 6

**Impacto ao meio ambiente:** Baixo impacto ao meio ambiente (emissão de poluentes, impacto ambiental na produção e transporte)

**Flexibilidade:** Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)

**Disponibilidade:** Não possui fornecimento por gasoduto

**Estoque:** Necessita de estocagem

**Condições Operacionais:** Desempenho equipamento/energético desfavorável (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)

**Treinamento:** Dispensa treinamento para operar com o gás natural

#### Cartão 7

**Impacto ao meio ambiente:** Alto impacto ao meio ambiente (emissão de poluentes, impacto ambiental na produção e transporte)

**Flexibilidade:** Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)

**Disponibilidade:** Não possui fornecimento por gasoduto

**Estoque:** Necessita de estocagem

**Condições Operacionais:** Desempenho equipamento/energético favorável (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)

**Treinamento:** Dispensa treinamento para operar com o gás natural

#### Cartão 8

**Impacto ao meio ambiente:** Alto impacto ao meio ambiente (emissão de poluentes, impacto ambiental na produção e transporte)

**Flexibilidade:** Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)

**Disponibilidade:** Fornecimento com riscos de corte

**Estoque:** Necessita de estocagem

**Condições Operacionais:** Desempenho equipamento/energético favorável (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)

**Treinamento:** Necessita de treinamento para operar com o gás natural

### Cartão 9

**Impacto ao meio ambiente:** Baixo impacto ao meio ambiente (emissão de poluentes, impacto ambiental na produção e transporte)

**Flexibilidade:** Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)

**Disponibilidade:** Fornecimento garantido

**Estoque:** Necessita de estocagem

**Condições Operacionais:** Desempenho equipamento/energético desfavorável (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)

**Treinamento:** Necessita de treinamento para operar com o gás natural

### Cartão 10

**Impacto ao meio ambiente:** Alto impacto ao meio ambiente (emissão de poluentes, impacto ambiental na produção e transporte)

**Flexibilidade:** Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)

**Disponibilidade:** Fornecimento garantido

**Estoque:** Necessita de estocagem

**Condições Operacionais:** Desempenho equipamento/energético favorável (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)

**Treinamento:** Necessita de treinamento para operar com o gás natural

### Cartão 11

**Impacto ao meio ambiente:** Baixo impacto ao meio ambiente (emissão de poluentes, impacto ambiental na produção e transporte)

**Flexibilidade:** Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)

**Disponibilidade:** Fornecimento garantido

**Estoque:** Dispensa estocagem

**Condições Operacionais:** Desempenho equipamento/energético favorável (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)

**Treinamento:** Necessita de treinamento para operar com o gás natural

### Cartão 12

**Impacto ao meio ambiente:** Baixo impacto ao meio ambiente (emissão de poluentes, impacto ambiental na produção e transporte)

**Flexibilidade:** Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)

**Disponibilidade:** Não possui fornecimento por gasoduto

**Estoque:** Dispensa estocagem

**Condições Operacionais:** Desempenho equipamento/energético favorável (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)

**Treinamento:** Necessita de treinamento para operar com o gás natural

**Cartão 13**

**Impacto ao meio ambiente:** Alto impacto ao meio ambiente (emissão de poluentes, impacto ambiental na produção e transporte)

**Flexibilidade:** Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)

**Disponibilidade:** Fornecimento garantido

**Estoque:** Necessita de estocagem

**Condições Operacionais:** Desempenho equipamento/energético favorável (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)

**Treinamento:** Dispensa treinamento para operar com o gás natural

**Cartão 14**

**Impacto ao meio ambiente:** Alto impacto ao meio ambiente (emissão de poluentes, impacto ambiental na produção e transporte)

**Flexibilidade:** Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)

**Disponibilidade:** Fornecimento garantido

**Estoque:** Dispensa estocagem

**Condições Operacionais:** Desempenho equipamento/energético desfavorável (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)

**Treinamento:** Necessita de treinamento para operar com o gás natural

**Cartão 15**

**Impacto ao meio ambiente:** Alto impacto ao meio ambiente (emissão de poluentes, impacto ambiental na produção e transporte)

**Flexibilidade:** Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)

**Disponibilidade:** Fornecimento garantido

**Estoque:** Dispensa estocagem

**Condições Operacionais:** Desempenho equipamento/energético desfavorável (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)

**Treinamento:** Dispensa treinamento para operar com o gás natural

**Cartão 16**

**Impacto ao meio ambiente:** Baixo impacto ao meio ambiente (emissão de poluentes, impacto ambiental na produção e transporte)

**Flexibilidade:** Possui flexibilidade (facilidade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)

**Disponibilidade:** Fornecimento garantido

**Estoque:** Dispensa estocagem

**Condições Operacionais:** Desempenho equipamento/energético favorável (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)

**Treinamento:** Dispensa treinamento para operar com o gás natural

**Cartão 17 (Holdout)**

**Impacto ao meio ambiente:** Alto impacto ao meio ambiente (emissão de poluentes, impacto ambiental na produção e transporte)

**Flexibilidade:** Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)

**Disponibilidade:** Fornecimento garantido

**Estoque:** Necessita de estocagem

**Condições Operacionais:** Desempenho equipamento/energético favorável (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)

**Treinamento:** Necessita de treinamento para operar com o gás natural

### **Cartão 18 (Holdout)**

**Impacto ao meio ambiente:** Alto impacto ao meio ambiente (emissão de poluentes, impacto ambiental na produção e transporte)

**Flexibilidade:** Não possui flexibilidade (dificuldade de adaptação da máquina ao combustível e do combustível aos processos da fábrica)

**Disponibilidade:** Não possui fornecimento por gasoduto

**Estoque:** Necessita de estocagem

**Condições Operacionais:** Desempenho equipamento/energético desfavorável (característica de combustão, característica físico-química e eficiência térmica)

**Treinamento:** Dispensa treinamento para operar com o gás natural

## Resultados da AC para as empresas do Estado de SP

resultadospreferencias\_cartoes\_SaoPaulo.sav - SPSS Data Editor

File Edit View Data Transform Analyze Graphs Utilities Window Help

1: ID

ID	PREF1	PREF2	PREF3	PREF4	PREF5	PREF6	PREF7	PREF8	PREF9	PREF10	PREF11	PREF12	PREF13	PREF14	PREF15	PREF16	PREF17	PREF18	Var	Var	Var
1	16	12	2	11	3	9	4	6	7	8	10	13	14	1	17	15	5	18			
2	16	11	2	9	3	4	12	6	10	15	17	1	13	14	8	7	5	18			
3	16	11	2	9	3	4	12	6	10	13	17	14	15	8	1	7	5	18			
4	16	12	10	7	11	13	17	3	8	14	2	15	9	1	4	5	6	18			
5	16	12	7	10	11	13	17	2	14	9	15	3	8	4	1	6	18	5			
6	16	10	13	11	17	2	14	15	9	3	8	1	4	7	12	6	18	5			
7	16	11	12	2	3	9	4	6	10	7	14	15	1	5	13	17	8	18			
8	16	2	11	9	3	6	4	12	14	10	1	7	15	13	17	5	8	18			
9	11	16	2	13	15	9	17	10	3	18	4	6	1	8	7	5	14	12			
10	2	16	12	3	11	4	9	6	14	5	15	7	10	18	1	8	13	17			
11	16	11	3	9	2	4	12	6	10	14	17	15	13	8	1	7	18	5			
12	16	9	11	2	3	4	12	6	14	15	10	17	13	1	5	18	8	7			
13	16	12	2	4	11	9	3	6	14	1	10	7	15	5	13	17	8	18			
14	4	11	9	3	12	16	2	6	14	10	1	13	8	5	17	15	7	18			
15	16	2	4	14	10	12	7	1	3	6	11	15	5	9	13	17	18	8			
16	16	3	11	12	10	13	17	8	7	2	9	4	6	14	15	1	5	18			
17	16	2	11	9	10	14	13	17	15	3	8	1	4	12	6	7	18	5			
18	16	11	14	15	10	13	17	2	9	3	1	8	4	12	5	7	6	18			
19	16	11	2	4	3	10	17	13	8	1	9	14	15	12	7	6	5	18			
20	16	3	11	12	10	7	13	17	8	14	1	2	15	6	18	9	4	5			
21																					
22																					
23																					
24																					
25																					
26																					
27																					
28																					
29																					
30																					
31																					
32																					
33																					

Data View / Variable View / SPSS Processor is ready

start | qualificação | Quali\_v6\_carnaval [M... | Quali\_v6\_09marco (R... | Hotmail - marianasar... | resultadospreferenci... | EN | 09:20

Figura B.13 – Resultados das ordenações dos cartões obtidos a partir das preferências dos respondentes do Estado de SP

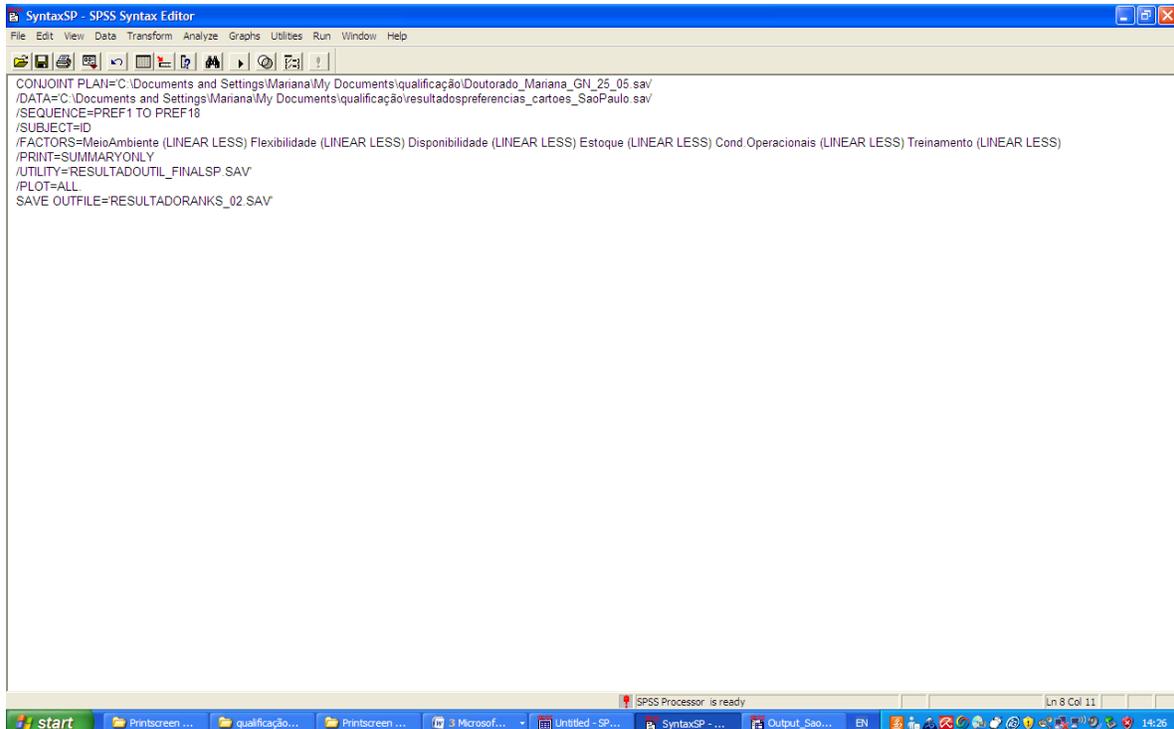


Figura B.14 – Sintaxe do planejamento do experimento para todos os setores do Estado de SP

### Arquivo de saída do SPSS, versão 13.0 para os dados agregados

Factor	Model	Levels	Label
MeioAmbiente	1<	2	Impacto ao meio ambiente
Flexibilidade	1<	2	Flexibilidade
Disponibilidade	1<	3	Disponibilidade
Estoque	1<	2	Estoque
Cond.Operacionais	1<	2	Condições Operacionais
Treinamento	1<	2	Treinamento

(Models: d=discrete, l=linear, i=ideal, ai=antiideal, <=less, >=more)

All the factors are orthogonal.



#### SUBFILE SUMMARY

Averaged Importance	Utility	Factor
32,50	-4,9625	MeioAmbi
	-9,9250	Impacto ao meio ambiente
		Baixo impacto ao mei
		Alto impacto ao meio
	B = -4,9625	
12,49	-1,7125	Flexibil
		Flexibilidade
		Possui flexibilidade

	-3,4250	-	Não possui flexibili
	B = -1,7125		
27,79	-2,1727	Disponib	Disponibilidade
	-4,3455	-	Fornecimento garanti
	-6,5182	--	Fornecimento com ris
	B = -2,1727	---	Não possui fornecime
6,73	-,8625	Estoque	Estoque
	-1,7250	-	Dispensa estocagem
	B = -,8625		Necessita de estocag
16,33	-2,3500	Cond.Ope	Condições Operacionais
	-4,7000	-	Desempenho equip./en
	B = -2,3500	--	Desempenho equip/ene
4,16	-,3125	Treiname	Treinamento
	-,6250		Dispensa treinamento
	B = -,3125		Necessita de treinam
	27,6023	CONSTANT	

Pearson's R = ,993

Significance = ,0000

Kendall's tau = ,917

Significance = ,0000

Kendall's tau = 1,000 for 2 holdouts

Significance = .

▼

#### SUBFILE SUMMARY

#### Reversal Summary:

3 subjects had 2 reversals  
7 subjects had 1 reversals

#### Reversals by factor:

Cond.Operacionais 5  
Treinamento 4  
Estoque 3  
Flexibilidade 1  
Disponibilidade 0

MeioAmbiente 0

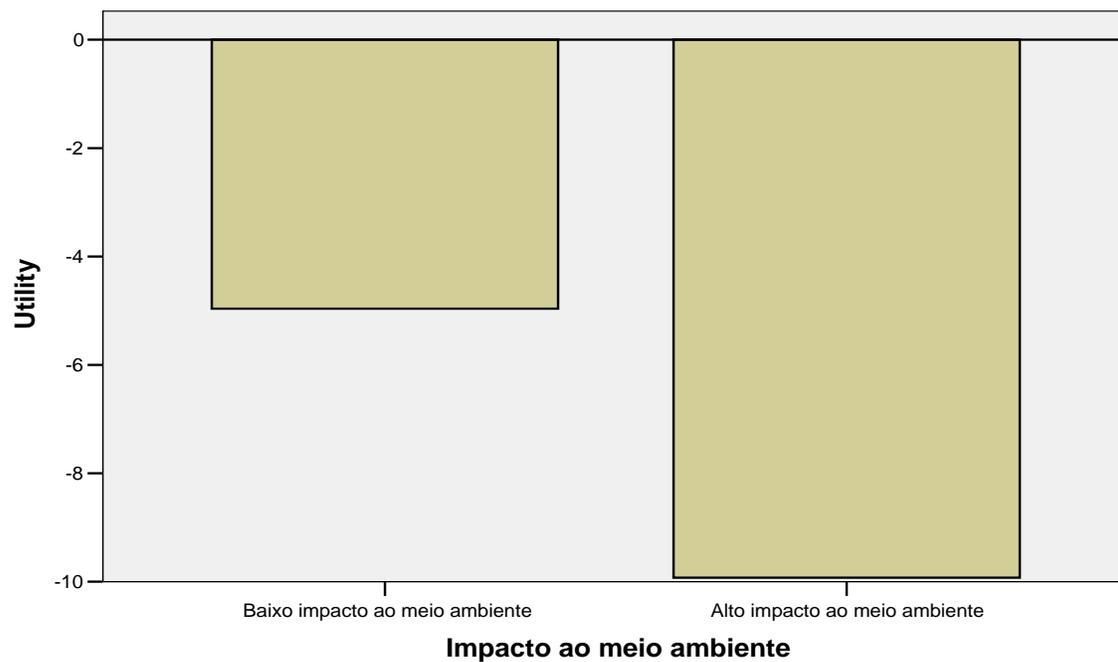
Reversal index:

Page	Reversals	Subject
1	1	1
1	0	2
1	0	3
1	0	4
1	0	5
1	0	6
1	0	7
1	1	8
1	2	9
1	1	10
1	1	11
1	2	12
1	2	13
1	1	14
1	1	15
1	0	16
1	0	17
1	0	18
1	1	19
1	0	20

Abbreviated Name	Extended Name
---------------------	------------------

Cond.Ope	Cond.Operacionais
Disponib	Disponibilidade
Flexibil	Flexibilidade
MeioAmbi	MeioAmbiente
Treiname	Treinamento

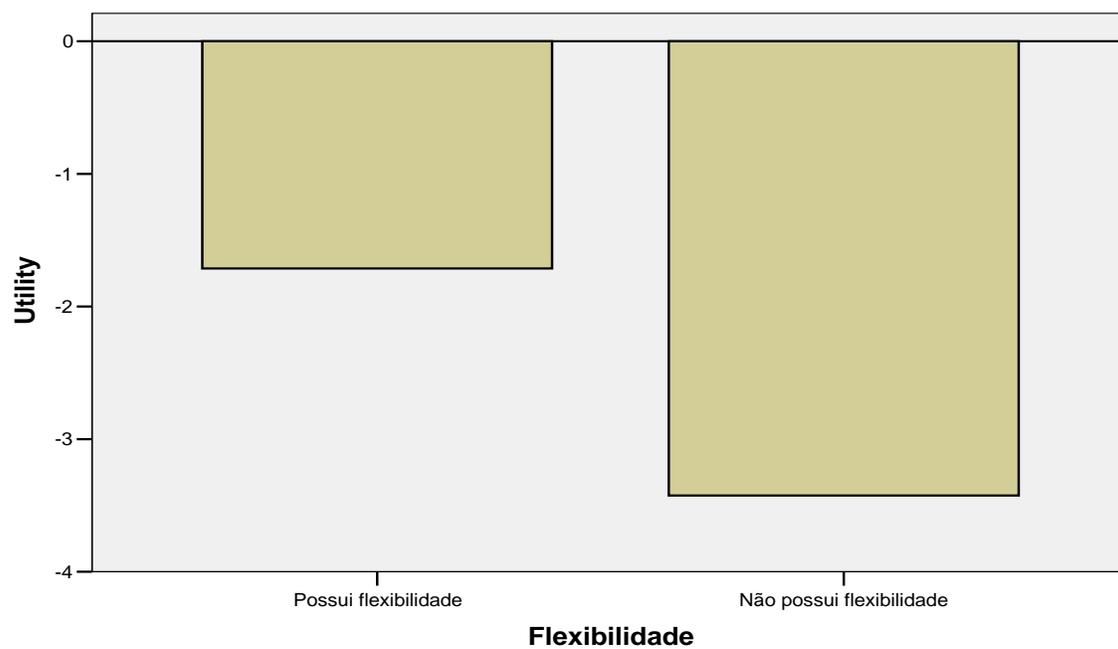
### Summary Utilities



B = -4,9625

Gráfico B.3 – Utilidade agregada do atributo “impacto ao meio ambiente”

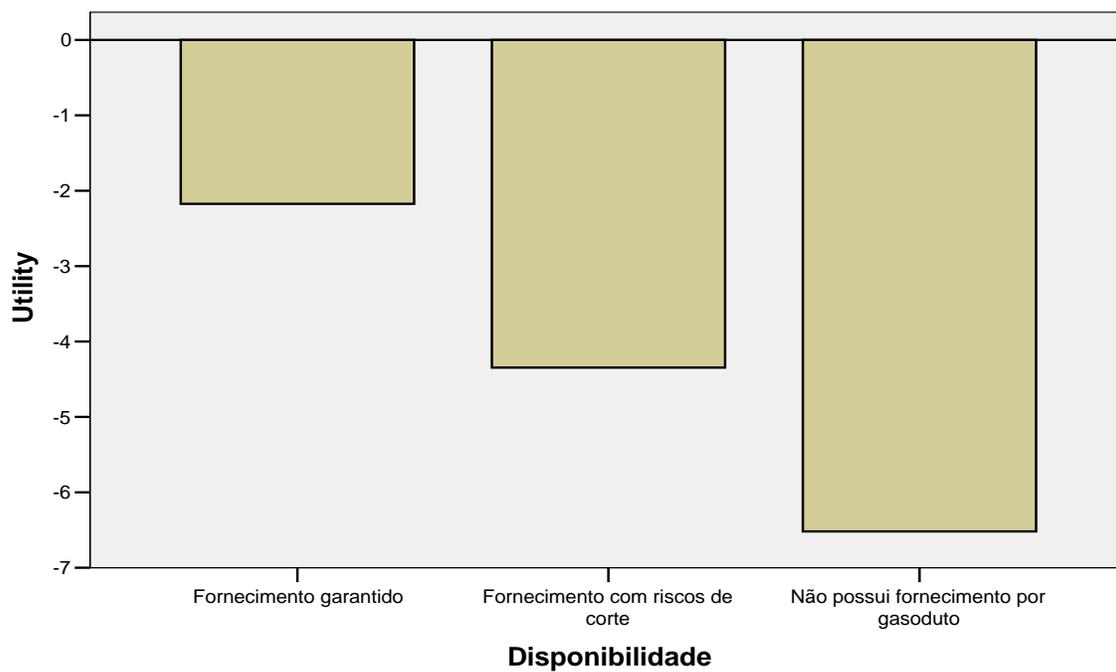
### Summary Utilities



B = -1,7125

Gráfico B.4 – Utilidade agregada do atributo “flexibilidade”

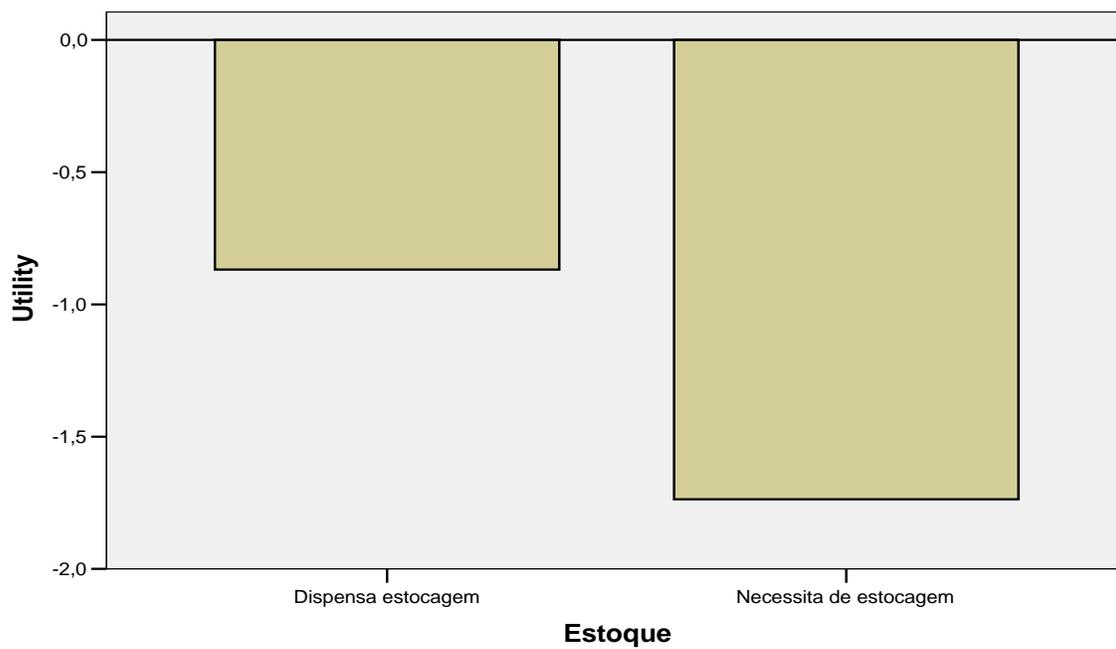
### Summary Utilities



B = -2,1727

Gráfico B.5 - Utilidade agregada do atributo “disponibilidade”

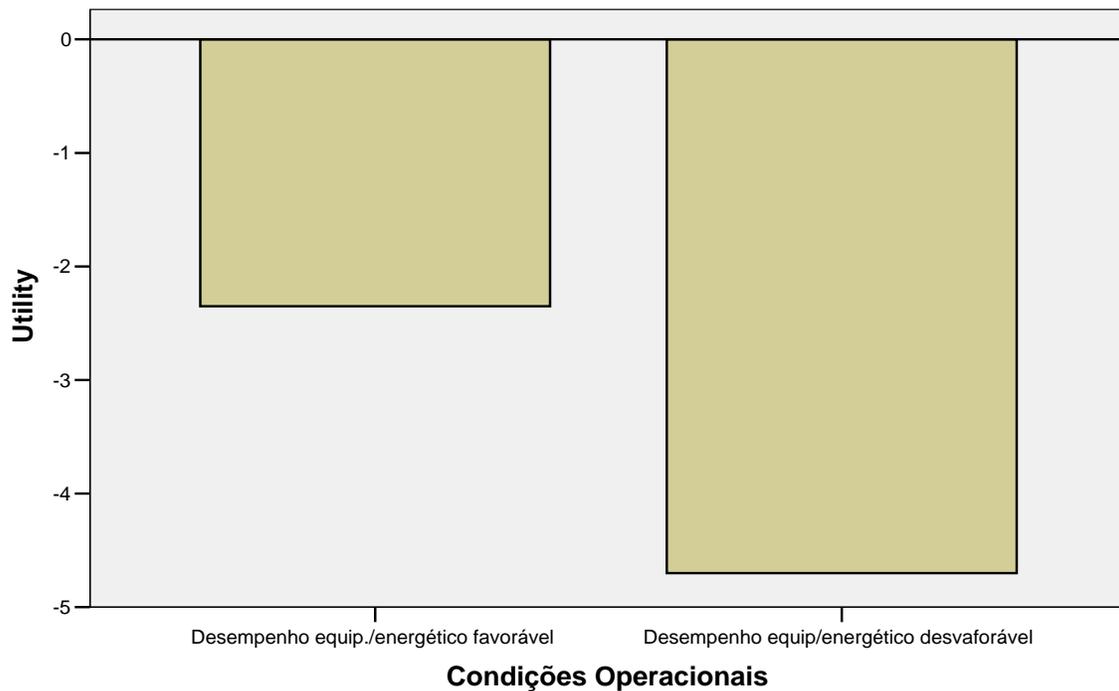
### Summary Utilities



B = -,8684

Gráfico B.6 - Utilidade agregada do atributo “estoque”

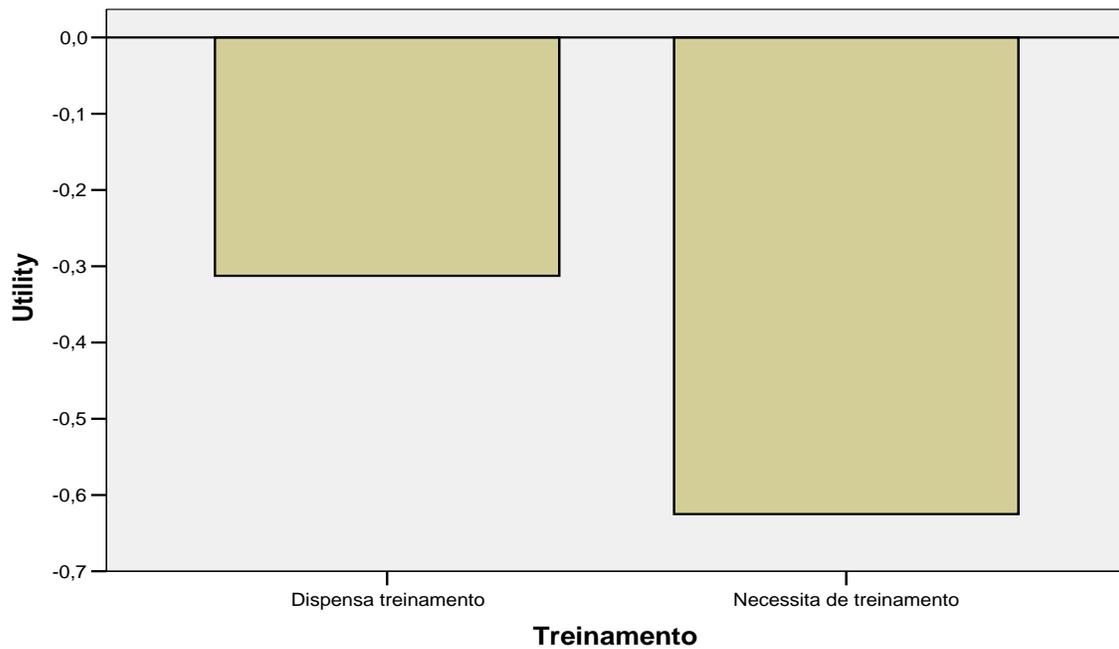
### Summary Utilities



B = -2,3500

Gráfico B.7 - Utilidade agregada do atributo “condições operacionais”

### Summary Utilities



B = -,3125

Gráfico B.8 - Utilidade agregada do atributo “treinamento”

### Importance summary

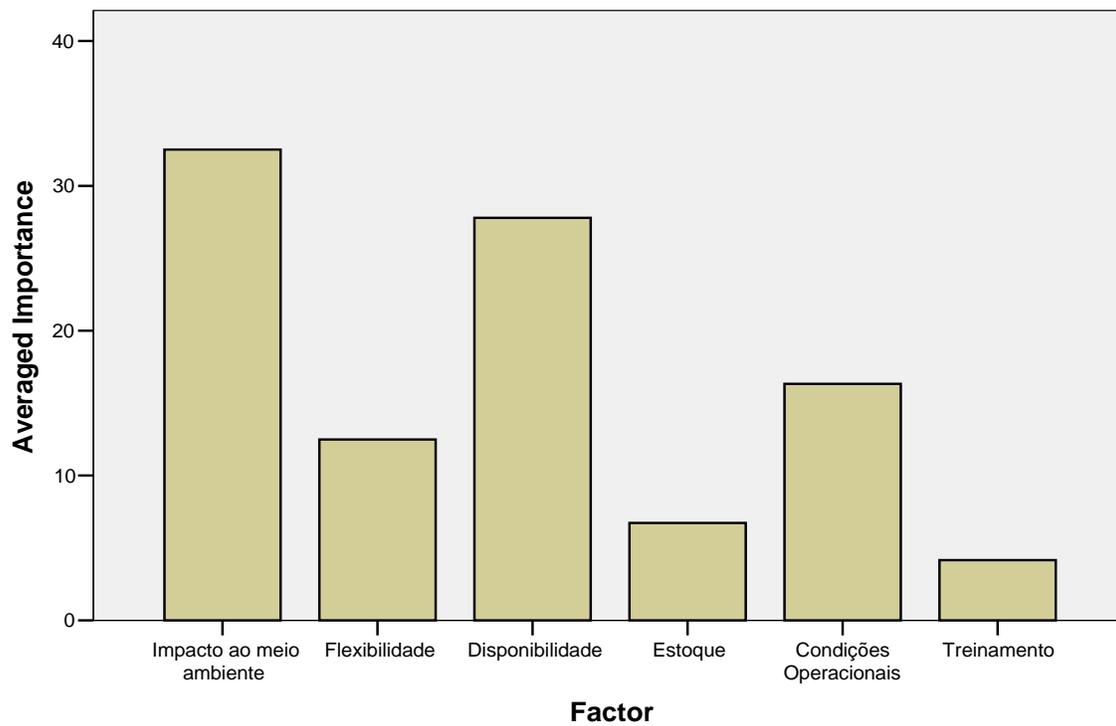


Gráfico B.9 – Importância por fator (atributo)

Tabela B.2 – Resultado das utilidades parciais e scores por respondente no Estado de SP

RESULTADOUTIL\_FINAL.SP - SPSS Data Editor

File Edit View Data Transform Analyze Graphs Utilities Window Help

23 : MeioAmbiente\_L

	MeioAmbiente_L	Flexibilidade_L	Disponibilidade_L	Estoque_L	Cond.Operacionais_L	Treinamento_L	SCORE 1	SCORE 2	SCORE 3	SCORE 4	SCORE 5	SCORE 6	SCORE 7	SCORE 8	SCORE 9	SCORE 10	SCORE 11	SCORE 12	SCORE 13	SCORE 14	SCORE 15	SCORE 16	SCORE 17	SCORE 18	var	var	
1	-8,00	-2,00	-,36	,50	-3,50	-,25	3,53	12,40	13,03	11,78	,92	9,67	7,17	5,28	10,15	7,65	13,15	14,42	5,90	3,65	1,90	15,40	5,65	1,67			
2	-8,00	-,75	-2,36	-,75	-,75	-,75	4,66	14,27	12,66	11,16	,80	8,80	2,30	3,16	12,77	6,27	14,27	10,30	6,27	6,27	6,27	15,77	5,52	,80			
3	-8,00	-,50	-2,55	,00	-1,50	,00	3,36	13,91	12,36	11,36	,32	8,32	2,32	4,36	13,41	7,41	14,91	10,32	6,91	5,91	5,41	15,41	6,91	,32			
4	-,25	-3,00	-1,27	-1,25	-8,00	,00	6,18	6,45	11,43	5,18	1,91	,91	11,66	9,93	3,45	14,20	12,70	13,16	11,20	7,45	4,45	15,70	11,20	,66			
5	-1,25	-4,00	-1,82	-,25	-6,00	-,25	6,67	9,49	9,92	7,42	,60	1,85	10,60	8,17	5,24	13,99	11,49	11,85	10,24	8,24	4,49	15,74	9,99	,60			
6	,00	-1,00	-5,09	,00	-3,00	-1,00	6,73	11,82	8,73	5,73	-,36	,64	4,64	7,73	9,82	13,82	12,82	3,64	13,82	10,82	10,82	14,82	12,82	,64			
7	-8,00	-2,50	-,82	-1,75	-1,75	,00	5,55	12,61	12,80	11,80	2,23	8,48	4,73	3,05	10,11	6,36	13,61	14,48	3,86	6,36	3,86	16,11	3,86	,48			
8	-8,00	-2,00	-1,73	-,75	,25	-1,00	6,07	15,05	11,82	12,32	1,34	9,59	3,34	2,07	12,05	5,80	12,55	11,09	4,80	6,80	5,80	15,55	3,80	1,59			
9	-3,25	2,00	-4,00	1,00	-1,25	-3,00	5,25	13,50	11,75	6,50	,25	7,50	3,50	6,50	12,50	8,50	12,75	2,75	13,50	6,25	11,25	13,75	10,50	4,25			
10	-8,00	-2,00	-,27	-2,50	,50	,00	6,93	12,70	12,43	12,43	4,66	10,16	3,66	1,93	10,70	4,20	12,70	14,16	2,20	7,20	5,20	14,70	2,20	2,16			
11	-8,00	-,25	-2,36	-1,00	-1,50	,25	3,66	13,02	12,91	10,91	1,30	8,05	1,80	4,16	13,02	6,77	15,52	11,05	6,27	6,27	5,77	15,52	6,52	,05			
12	-8,00	-,25	-2,45	-1,50	,50	,25	4,89	13,84	12,14	11,64	2,43	8,68	,43	2,89	13,84	5,59	14,84	10,18	5,09	7,59	7,09	14,84	5,34	,68			
13	-8,00	-4,00	-,64	-1,75	,25	,25	7,22	14,10	10,97	13,72	2,83	8,83	4,58	1,47	10,35	6,10	11,85	14,58	1,85	8,10	3,85	15,60	2,10	,83			
14	-8,00	-,75	-1,18	-,50	,00	2,75	3,45	12,14	10,70	13,70	4,27	9,02	1,77	4,95	14,14	6,89	14,64	13,02	3,39	7,39	3,89	12,64	6,14	1,02			
15	-3,00	-8,00	-,55	-1,00	,50	-1,00	12,11	14,66	6,61	13,11	2,57	5,57	10,07	1,61	5,66	10,16	6,16	13,07	3,16	11,66	4,66	15,16	2,16	2,57			
16	-4,00	-,50	-1,18	,00	-8,00	-,25	2,58	7,76	14,08	6,33	,65	4,90	9,40	9,83	7,01	11,51	15,01	13,15	11,26	3,51	3,26	15,76	11,01	,90			
17	-2,50	-,75	-5,09	-,25	-1,25	-,25	5,98	13,32	8,98	7,98	-,11	2,39	1,89	5,98	12,32	11,82	13,82	4,39	11,32	10,82	10,32	14,82	11,07	-,11			
18	,00	-,50	-5,09	-3,00	-1,50	,00	8,23	10,32	9,23	5,23	2,64	-,36	1,64	6,23	9,82	11,82	14,32	4,64	11,32	13,32	12,82	14,82	11,32	-,36			
19	-3,75	-1,75	-3,64	,25	-3,00	-,50	5,22	12,85	10,22	8,72	-,67	3,83	4,83	6,22	10,60	11,60	13,35	7,83	10,35	8,35	7,10	15,60	9,85	,08			
20	-1,25	-1,75	-1,00	-2,75	-8,00	-1,50	6,63	6,13	14,13	3,63	2,38	2,38	10,88	8,63	2,88	11,38	13,63	13,38	11,13	6,13	5,88	16,88	9,63	1,13			
21																											
22																											
23																											
24																											
25																											
26																											
27																											
28																											
29																											
30																											
31																											
32																											
33																											
34																											
35																											
36																											
37																											
38																											

Data View / Variable View /

SPSS Processor is ready

start Resultados da AC par... RESULTADOUTIL\_FIN... EN | 08:39

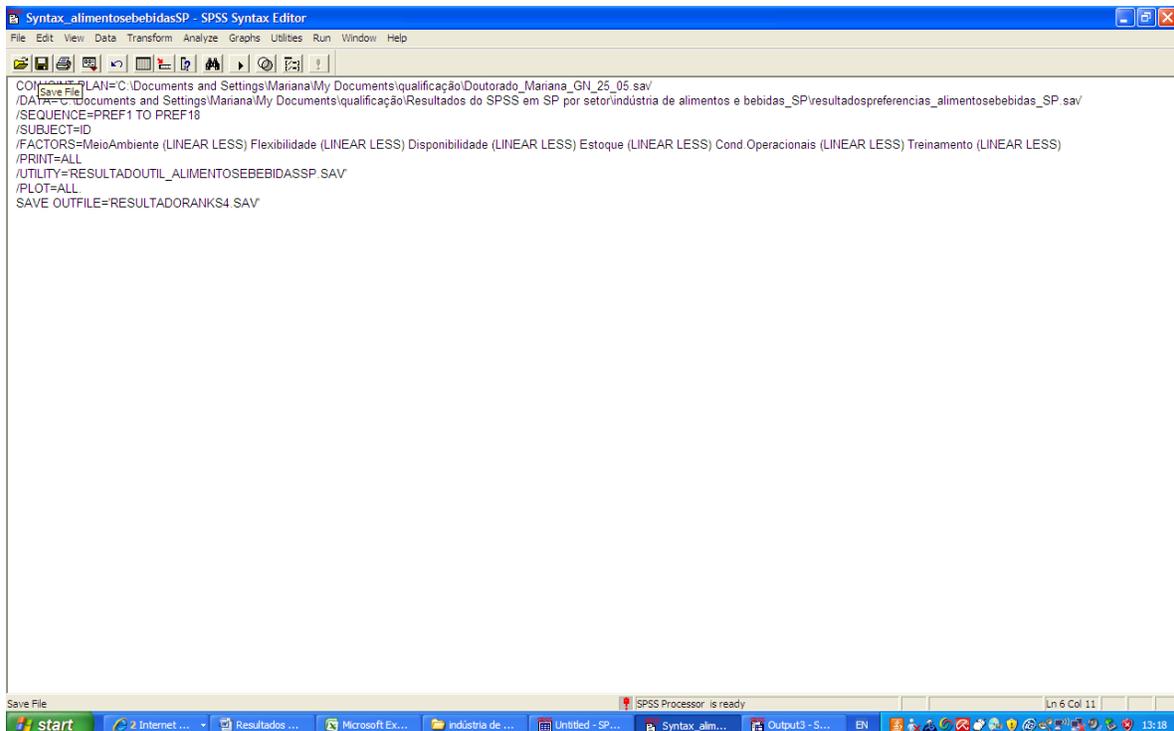


Figura B.15 – Sintaxe do planejamento do experimento para o setor de alimentos e bebidas do Estado de SP

### Arquivo de saída do SPSS, versão 13.0 para o setor de alimentos e bebidas do Estado de SP

Factor	Model	Levels	Label
MeioAmbiente	1<	2	Impacto ao meio ambiente
Flexibilidade	1<	2	Flexibilidade
Disponibilidade	1<	3	Disponibilidade
Estoque	1<	2	Estoque
Cond.Operacionais	1<	2	Condições Operacionais
Treinamento	1<	2	Treinamento

(Models: d=discrete, l=linear, i=ideal, ai=antiideal, <=less, >=more)

All the factors are orthogonal.



SUBJECT NAME: 1

Importance Utility(s.e.) Factor \*\* Reversed ( 1 reversal )

53,41	-8,0000 ( ,6728)	MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
		--	Baixo impacto ao mei
		----	Alto impacto ao meio
B = -8,0000 ( ,6728)			
13,35	-2,0000 ( ,6728)	Flexibil	Flexibilidade
		-	Possui flexibilidade



	□	-1,5000 (1,2268)		Não possui flexibili
		B = -,7500 ( ,6134)		
				Disponib
	□	-2,3636 ( ,3699)	-	Disponibilidade
		-4,7273 ( ,7398)	-	Fornecimento garanti
		-7,0909 (1,1097)	--	Fornecimento com ris
		B = -2,3636 ( ,3699)		Não possui fornecime
				Estoque
4,77	□	-,7500 ( ,6134)		Estoque
		-1,5000 (1,2268)		Dispensa estocagem
		B = -,7500 ( ,6134)		Necessita de estocag
				Cond.Ope
4,77	□	-,7500 ( ,6134)		Condições Operacionais
		-1,5000 (1,2268)		Desempenho equip./en
		B = -,7500 ( ,6134)		Desempenho equip/ene
				Treiname
4,77	□	-,7500 ( ,6134)		Treinamento
		-1,5000 (1,2268)		Dispensa treinamento
		B = -,7500 ( ,6134)		Necessita de treinam
		29,1364 (2,1785)	CONSTANT	
Pearson's R		= ,980		Significance = ,0000
Kendall's tau		= ,936		Significance = ,0000
Kendall's tau		= 1,000 for 2 holdouts		Significance = .



SUBJECT NAME: 3

Importance	Utility(s.e.)	Factor	** Reversed ( 1 reversal )
		MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
	□	-8,0000 ( ,5013)	Baixo impacto ao mei
		-16,000 (1,0025)	Alto impacto ao meio
		B = -8,0000 ( ,5013)	
		Flexibil	Flexibilidade
1,59		-,2500 ( ,5013)	Possui flexibilidade

		- ,5000 (1,0025)		Não possui flexibili
		B = - ,2500 ( ,5013)		
				Disponib
30,06		-2,3636 ( ,3023)	-	Disponibilidade
		-4,7273 ( ,6045)	-	Fornecimento garanti
		-7,0909 ( ,9068)	--	Fornecimento com ris
		B = -2,3636 ( ,3023)		Não possui fornecime
				Estoque
6,36		-1,0000 ( ,5013)		Estoque
		-2,0000 (1,0025)	-	Dispensa estocagem
		B = -1,0000 ( ,5013)		Necessita de estocag
				Cond.Ope
9,54		-1,5000 ( ,5013)		Condições Operacionais
		-3,0000 (1,0025)	-	Desempenho equip./en
		B = -1,5000 ( ,5013)		Desempenho equip/ene
				Treiname **
1,59		,2500 ( ,5013)		Treinamento
		,5000 (1,0025)		Dispensa treinamento
		B = ,2500 ( ,5013)		Necessita de treinam
		28,3864 (1,7803)	CONSTANT	
Pearson's R	=	,987		Significance = ,0000
Kendall's tau	=	,920		Significance = ,0000
Kendall's tau	=	1,000 for 2 holdouts		Significance = .



SUBJECT NAME: 4

Importance	Utility(s.e.)	Factor
		MeioAmbi
,00		Impacto ao meio ambiente
	,0000 ( ,4975)	Baixo impacto ao mei
	,0000 ( ,9949)	Alto impacto ao meio
	B = ,0000 ( ,4975)	
		Flexibil
3,29		Flexibilidade
	- ,5000 ( ,4975)	Possui flexibilidade





## Reversal index:

Page	Reversals	Subject
1	1	1
2	0	2
3	1	3
4	0	4

Abbreviated Name	Extended Name
---------------------	------------------

Cond.Ope	Cond.Operacionais
Disponib	Disponibilidade
Flexibil	Flexibilidade
MeioAmbi	MeioAmbiente
Treiname	Treinamento

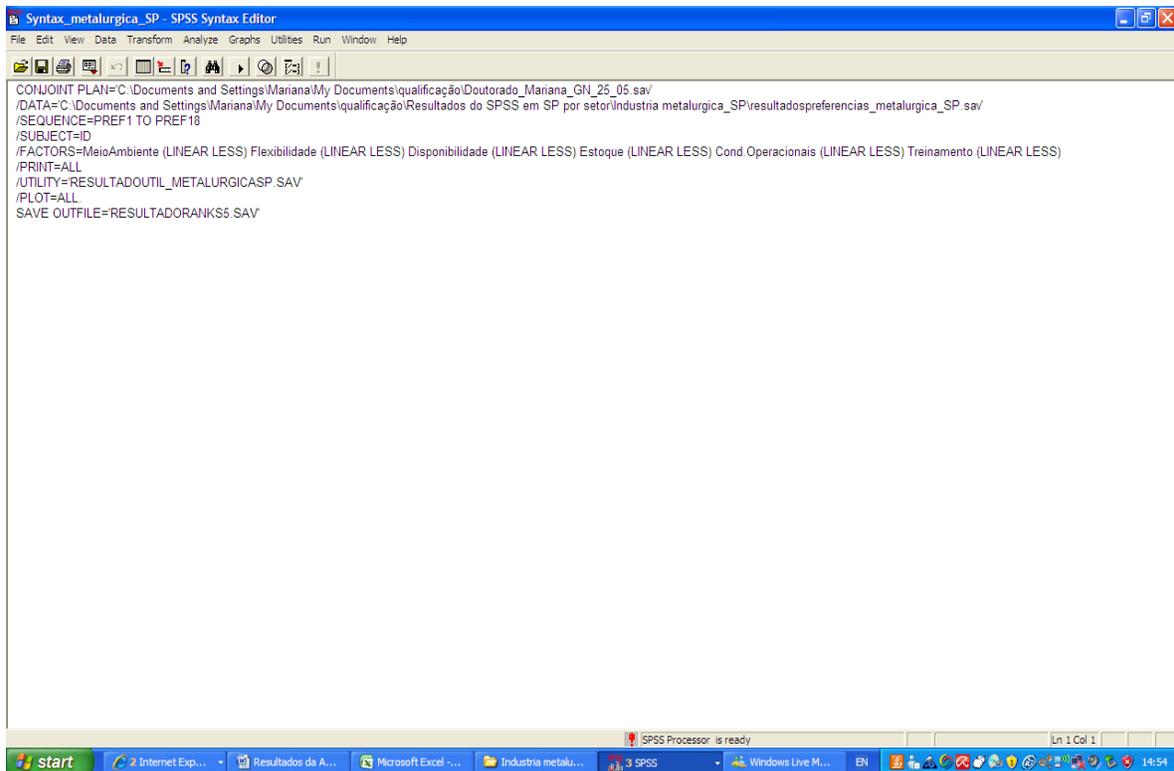


Figura B.16 – Sintaxe do planejamento do experimento do setor metalúrgico do Estado de SP

### Arquivo de saída do SPSS, versão 13.0 para o setor metalúrgico do Estado de SP

Factor	Model	Levels	Label
MeioAmbiente	1<	2	Impacto ao meio ambiente
Flexibilidade	1<	2	Flexibilidade
Disponibilidade	1<	3	Disponibilidade
Estoque	1<	2	Estoque
Cond.Operacionais	1<	2	Condições Operacionais
Treinamento	1<	2	Treinamento

(Models: d=discrete, l=linear, i=ideal, ai=antiideal, <=less, >=more)

All the factors are orthogonal.

SUBJECT NAME: 1

Importance	Utility(s.e.)	Factor
------------	---------------	--------

53,01	-8,0000 ( ,2752)	MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
	-16,0000 ( ,5505)		Baixo impacto ao mei
			Alto impacto ao meio
	B = -8,0000 ( ,2752)		
		Flexibil	Flexibilidade





25,77		-4,0000 ( ,2787)	-	Possui flexibilidade
		-8,0000 ( ,5573)	--	Não possui flexibili
		B = -4,0000 ( ,2787)		
8,20				Disponib
		- ,6364 ( ,1680)		Disponibilidade
		-1,2727 ( ,3361)		Fornecimento garanti
		-1,9091 ( ,5041)		Fornecimento com ris
		B = - ,6364 ( ,1680)		
11,27				Estoque
		-1,7500 ( ,2787)		Estoque
		-3,5000 ( ,5573)	-	Dispensa estocagem
		B = -1,7500 ( ,2787)		
1,61				Cond.Ope **
		,2500 ( ,2787)		Condições Operacionais
		,5000 ( ,5573)		Desempenho equip./en
		B = ,2500 ( ,2787)		
1,61				Treiname **
		,2500 ( ,2787)		Treinamento
		,5000 ( ,5573)		Dispensa treinamento
		B = ,2500 ( ,2787)		
		29,4886 ( ,9897)		CONSTANT

Pearson's R = ,996 Significance = ,0000

Kendall's tau = ,983 Significance = ,0000

Kendall's tau = 1,000 for 2 holdouts Significance = .



SUBJECT NAME: 4

Importance Utility(s.e.) Factor \*\* Reversed ( 1 reversal )

20,56				MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
		-3,0000 ( ,9962)	-		Baixo impacto ao mei
		-6,0000 (1,9924)	--		Alto impacto ao meio
		B = -3,0000 ( ,9962)			

Flexibil Flexibilidade



	24,97	-3,7500	-	Possui flexibilidade
		-7,5000	--	Não possui flexibili
		B = -3,7500		
14,97			Disponib	Disponibilidade
		-1,1364		Fornecimento garanti
		-2,2727	-	Fornecimento com ris
		-3,4091	-	Não possui fornecime
		B = -1,1364		
7,33			Estoque	Estoque
		-1,1250		Dispensa estocagem
		-2,2500	-	Necessita de estocag
		B = -1,1250		
6,54			Cond.Ope	Condições Operacionais
		-,6250		Desempenho equip./en
		-1,2500		Desempenho equip/ene
		B = -,6250		
2,12			Treiname	Treinamento
		-,1875		Dispensa treinamento
		-,3750		Necessita de treinam
		B = -,1875		
	29,1449		CONSTANT	

Pearson's R = ,987

Significance = ,0000

Kendall's tau = ,924

Significance = ,0000

Kendall's tau = 1,000 for 2 holdouts

Significance = .

▼

#### SUBFILE SUMMARY

#### Reversal Summary:

1 subjects had 2 reversals  
1 subjects had 1 reversals

#### Reversals by factor:

Cond.Operacionais 2  
Treinamento 1  
Estoque 0  
Disponibilidade 0

Flexibilidade 0  
MeioAmbiente 0

Reversal index:

Page	Reversals	Subject
7	0	1
8	0	2
9	2	3
10	1	4

Abbreviated Name	Extended Name
---------------------	------------------

Cond.Ope	Cond.Operacionais
Disponib	Disponibilidade
Flexibil	Flexibilidade
MeioAmbi	MeioAmbiente
Treiname	Treinamento

```

CONJOINT PLAN=C:\Documents and Settings\Mariana\My Documents\qualificação\Doutorado_Mariana_GN_25_05.sav
/DATA=C:\Documents and Settings\Mariana\My Documents\qualificação\Resultados do SPSS em SP por setor\Indústria de papel_SP\resultadospreferencias_papel_SP.sav
/SEQUENCE=PREF1 TO PREF18
/SUBJECT=ID
/FACTORS=MeioAmbiente (LINEAR LESS) Flexibilidade (LINEAR LESS) Disponibilidade (LINEAR LESS) Estoque (LINEAR LESS) Cond.Operacionais (LINEAR LESS) Treinamento (LINEAR LESS)
/PRINT=ALL
/UTILITY=RESULTADOUTIL_PAPELSP.SAV
/PLOT=ALL
SAVE OUTFILE=RESULTADORANKS6.SAV

```

Figura B.17 – Sintaxe do planejamento do experimento para o setor de papel e celulose do Estado de SP

### Arquivo de saída do SPSS, versão 13.0 para o setor de papel e celulose do Estado de SP

Factor	Model	Levels	Label
MeioAmbiente	1<	2	Impacto ao meio ambiente
Flexibilidade	1<	2	Flexibilidade
Disponibilidade	1<	3	Disponibilidade
Estoque	1<	2	Estoque
Cond.Operacionais	1<	2	Condições Operacionais
Treinamento	1<	2	Treinamento

(Models: d=discrete, l=linear, i=ideal, ai=antiideal, <=less, >=more)

All the factors are orthogonal.



SUBJECT NAME: 1

Importance Utility(s.e.) Factor \*\* Reversed ( 1 reversal )

51,76	-8,0000 ( ,8926)	MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
		--	Baixo impacto ao mei
		----	Alto impacto ao meio
B = -8,0000 ( ,8926)			
12,94	-2,0000 ( ,8926)	Flexibil	Flexibilidade
		-	Possui flexibilidade



		- ,5000 ( ,8961)		Não possui flexibili
		B = - ,2500 ( ,4481)		
				Disponib
	31,86	-2,4545 ( ,2702)	-	Disponibilidade
		-4,9091 ( ,5404)	-	Fornecimento garanti
		-7,3636 ( ,8106)	--	Fornecimento com ris
		B = -2,4545 ( ,2702)		Não possui fornecime
				Estoque
	9,73	-1,5000 ( ,4481)		Estoque
		-3,0000 ( ,8961)	-	Dispensa estocagem
		B = -1,5000 ( ,4481)		Necessita de estocag
				Cond.Ope **
	3,24	,5000 ( ,4481)		Condições Operacionais
		1,0000 ( ,8961)		Desempenho equip./en
		B = ,5000 ( ,4481)		Desempenho equip/ene
				Treiname **
	1,62	,2500 ( ,4481)		Treinamento
		,5000 ( ,8961)		Dispensa treinamento
		B = ,2500 ( ,4481)		Necessita de treinam
		26,2955 (1,5913)		CONSTANT
Pearson's R	=	,989		Significance = ,0000
Kendall's tau	=	,958		Significance = ,0000
Kendall's tau	=	1,000 for 2 holdouts		Significance = .



SUBJECT NAME: 3

Importance	Utility(s.e.)	Factor	** Reversed ( 1 reversal )
		MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
	55,70	-8,0000 ( ,9879)	--
		-16,0000 (1,9759)	----
		B = -8,0000 ( ,9879)	
			Baixo impacto ao mei
			Alto impacto ao meio
			Flexibil
	5,22	- ,7500 ( ,9879)	
			Flexibilidade
			Possui flexibilidade





MeioAmbiente 0

Reversal index:

Page	Reversals	Subject
1	1	1
2	2	2
3	1	3

Abbreviated Name	Extended Name
---------------------	------------------

Cond.Ope	Cond.Operacionais
Disponib	Disponibilidade
Flexibil	Flexibilidade
MeioAmbi	MeioAmbiente
Treiname	Treinamento

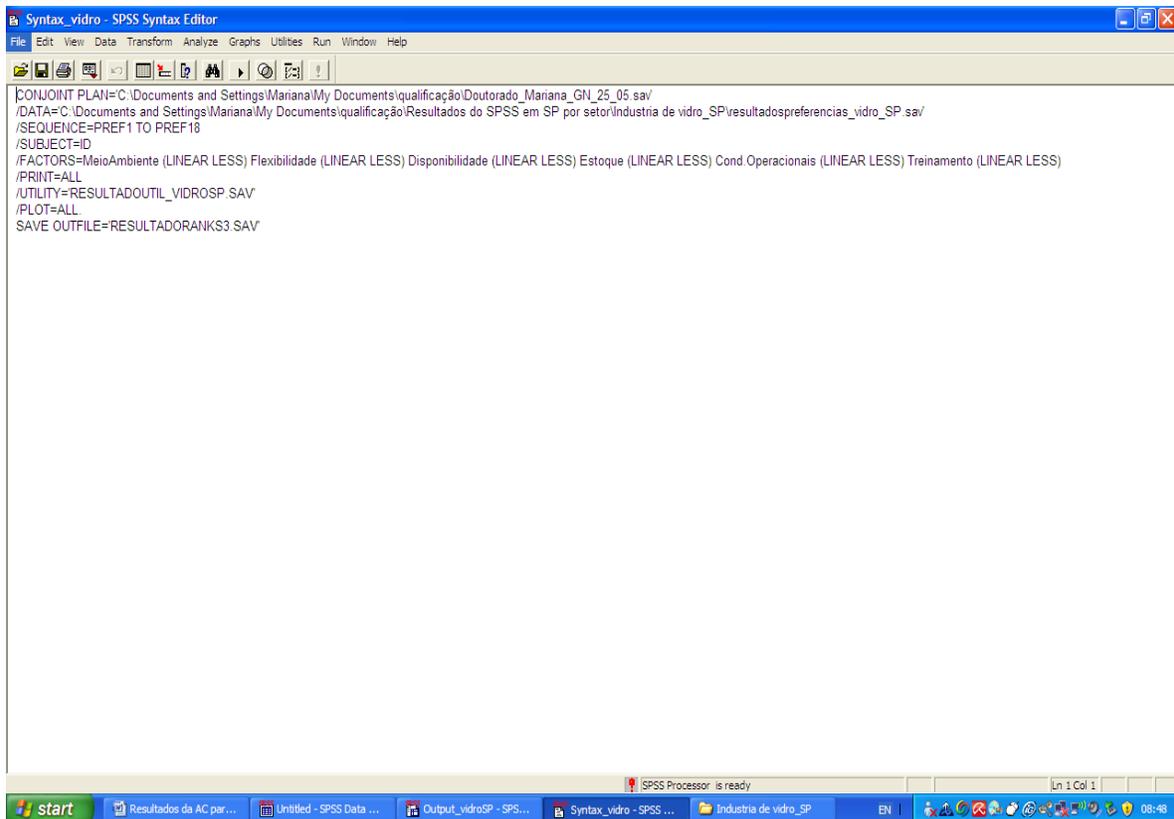


Figura B.18 – Sintaxe do planejamento do experimento para a indústria de vidro do Estado de SP

### Arquivo de saída do SPSS, versão 13.0 para a indústria de vidro do Estado de SP

Factor	Model	Levels	Label
MeioAmbiente	1<	2	Impacto ao meio ambiente
Flexibilidade	1<	2	Flexibilidade
Disponibilidade	1<	3	Disponibilidade
Estoque	1<	2	Estoque
Cond.Operacionais	1<	2	Condições Operacionais
Treinamento	1<	2	Treinamento

(Models: d=discrete, l=linear, i=ideal, ai=antiideal, <=less, >=more)

All the factors are orthogonal.



SUBJECT NAME: 1

Importance	Utility(s.e.)	Factor
------------	---------------	--------

8,12		MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
	-1,2500 (1,5713)	-	Baixo impacto ao mei
	-2,5000 (3,1427)		Alto impacto ao meio
	B = -1,2500 (1,5713)		







Disponibilidade 0  
 Flexibilidade 0  
 MeioAmbiente 0

Reversal index:

Page	Reversals	Subject
1	0	1
2	1	2

Abbreviated Name	Extended Name
---------------------	------------------

Cond.Ope	Cond.Operacionais
Disponib	Disponibilidade
Flexibil	Flexibilidade
MeioAmbi	MeioAmbiente
Treiname	Treinamento

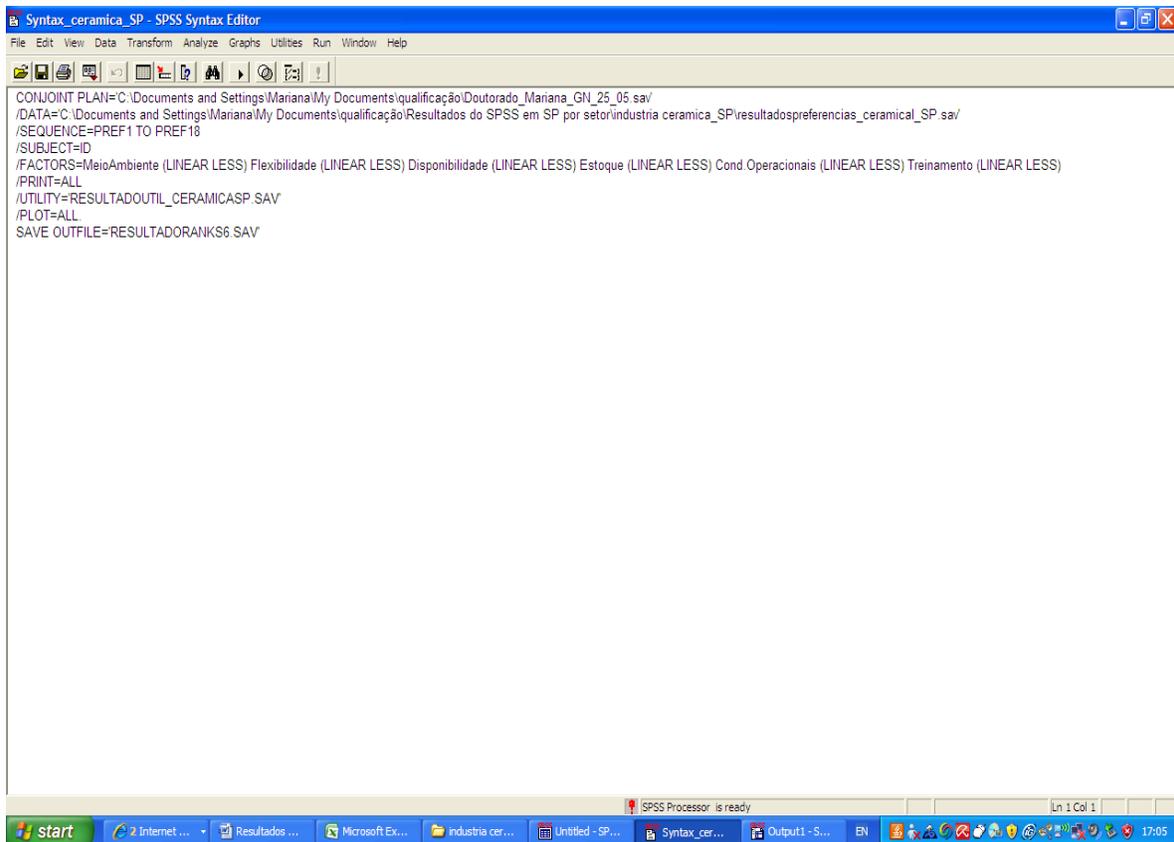


Figura B.19 – Sintaxe do planejamento do experimento para a indústria cerâmica do Estado de SP

### Arquivo de saída do SPSS, versão 13.0 para indústria cerâmica do Estado de SP

Factor	Model	Levels	Label
MeioAmbiente	1<	2	Impacto ao meio ambiente
Flexibilidade	1<	2	Flexibilidade
Disponibilidade	1<	3	Disponibilidade
Estoque	1<	2	Estoque
Cond.Operacionais	1<	2	Condições Operacionais
Treinamento	1<	2	Treinamento

(Models: d=discrete, l=linear, i=ideal, ai=antiideal, <=less, >=more)

All the factors are orthogonal.

▼

SUBJECT NAME: 1

Importance	Utility(s.e.)	Factor
------------	---------------	--------

1,66	-	,2500 ( ,8111)	MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
				Baixo impacto ao mei
				Alto impacto ao meio
B =		- ,2500 ( ,8111)		

19,94	<input type="checkbox"/>	Flexibil	Flexibilidade
		-3,0000 ( ,8111) -	Possui flexibilidade
		-6,0000 (1,6221) --	Não possui flexibili
		B = -3,0000 ( ,8111)	
16,92	<input type="checkbox"/>	Disponib	Disponibilidade
		-1,2727 ( ,4891)	Fornecimento garanti
		-2,5455 ( ,9782) -	Fornecimento com ris
		-3,8182 (1,4673) -	Não possui fornecime
		B = -1,2727 ( ,4891)	
8,31	<input type="checkbox"/>	Estoque	Estoque
		-1,2500 ( ,8111)	Dispensa estocagem
		-2,5000 (1,6221) -	Necessita de estocag
		B = -1,2500 ( ,8111)	
53,17	<input type="checkbox"/>	Cond.Ope	Condições Operacionais
		-8,0000 ( ,8111) --	Desempenho equip./en
		-16,000 (1,6221) ----	Desempenho equip/ene
		B = -8,0000 ( ,8111)	
,00	<input type="checkbox"/>	Treiname	Treinamento
		,0000 ( ,8111)	Dispensa treinamento
		,0000 (1,6221)	Necessita de treinam
		B = ,0000 ( ,8111)	
		29,4773 (2,8806) CONSTANT	

Pearson's R = ,965 Significance = ,0000

Kendall's tau = ,883 Significance = ,0000

Kendall's tau = 1,000 for 2 holdouts Significance = .



SUBJECT NAME: 2

Importance	Utility(s.e.)	Factor
,00		MeioAmbi
	,0000 ( ,5505)	Impacto ao meio ambiente
	,0000 (1,1010)	Baixo impacto ao mei
	B = ,0000 ( ,5505)	Alto impacto ao meio



10,81	<input type="checkbox"/>		Flexibil ** Flexibilidade
		2,0000 (1,2856)	- Possui flexibilidade
		4,0000 (2,5712)	- Não possui flexibili
		B = 2,0000 (1,2856)	

43,24	<input type="checkbox"/>		Disponib Disponibilidade
		-4,0000 ( ,7752)	- Fornecimento garanti
		-8,0000 (1,5505)	--- Fornecimento com ris
		-12,000 (2,3257)	---- Não possui fornecime
		B = -4,0000 ( ,7752)	

5,41	<input type="checkbox"/>		Estoque ** Estoque
		1,0000 (1,2856)	Dispensa estocagem
		2,0000 (2,5712)	- Necessita de estocag
		B = 1,0000 (1,2856)	

6,76	<input type="checkbox"/>		Cond.Ope Condições Operacionais
		-1,2500 (1,2856)	Desempenho equip./en
		-2,5000 (2,5712)	- Desempenho equip/ene
		B = -1,2500 (1,2856)	

16,22	<input type="checkbox"/>		Treiname Treinamento
		-3,0000 (1,2856)	- Dispensa treinamento
		-6,0000 (2,5712)	-- Necessita de treinam
		B = -3,0000 (1,2856)	

22,2500 (4,5659) CONSTANT

Pearson's R = ,908 Significance = ,0000

Kendall's tau = ,790 Significance = ,0000

Kendall's tau = 1,000 for 2 holdouts Significance = .



SUBJECT NAME: 4

Importance Utility(s.e.) Factor

26,47	<input type="checkbox"/>		MeioAmbi Impacto ao meio ambiente
		-4,0000 ( ,3067)	- Baixo impacto ao mei
		-8,0000 ( ,6134)	-- Alto impacto ao meio
		B = -4,0000 ( ,3067)	









9,47	<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; display: inline-block; vertical-align: middle;"></div> - ,9643 -1,9286 B = - ,9643	Flexibil	Flexibilidade
			Possui flexibilidade
		-	Não possui flexibili
37,93	<div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; display: inline-block; vertical-align: middle;"></div> -3,0390 -6,0779 -9,1169 B = -3,0390	Disponib	Disponibilidade
		-	Fornecimento garanti
		---	Fornecimento com ris
		----	Não possui fornecime
4,69	<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; display: inline-block; vertical-align: middle;"></div> - ,4286 - ,8571 B = - ,4286	Estoque	Estoque
			Dispensa estocagem
			Necessita de estocag
29,34	<div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; display: inline-block; vertical-align: middle;"></div> -4,6429 -9,2857 B = -4,6429	Cond.Ope	Condições Operacionais
		--	Desempenho equip./en
		----	Desempenho equip/ene
5,40	<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; display: inline-block; vertical-align: middle;"></div> - ,9286 -1,8571 B = - ,9286	Treiname	Treinamento
			Dispensa treinamento
		-	Necessita de treinam
	27,4789	CONSTANT	

Pearson's R = ,992

Significance = ,0000

Kendall's tau = ,962

Significance = ,0000

Kendall's tau = 1,000 for 2 holdouts

Significance = .

▽

#### SUBFILE SUMMARY

#### Reversal Summary:

1 subjects had 2 reversals  
1 subjects had 1 reversals

#### Reversals by factor:

Estoque 2  
Flexibilidade 1

Treinamento 0  
 Cond.Operacionais 0  
 Disponibilidade 0  
 MeioAmbiente 0

Reversal index:

Page	Reversals	Subject
1	0	1
2	0	2
3	2	3
4	0	4
5	0	5
6	1	6
7	0	7

Abbreviated Name	Extended Name
Cond.Ope	Cond.Operacionais
Disponib	Disponibilidade
Flexibil	Flexibilidade
MeioAmbi	MeioAmbiente
Treiname	Treinamento



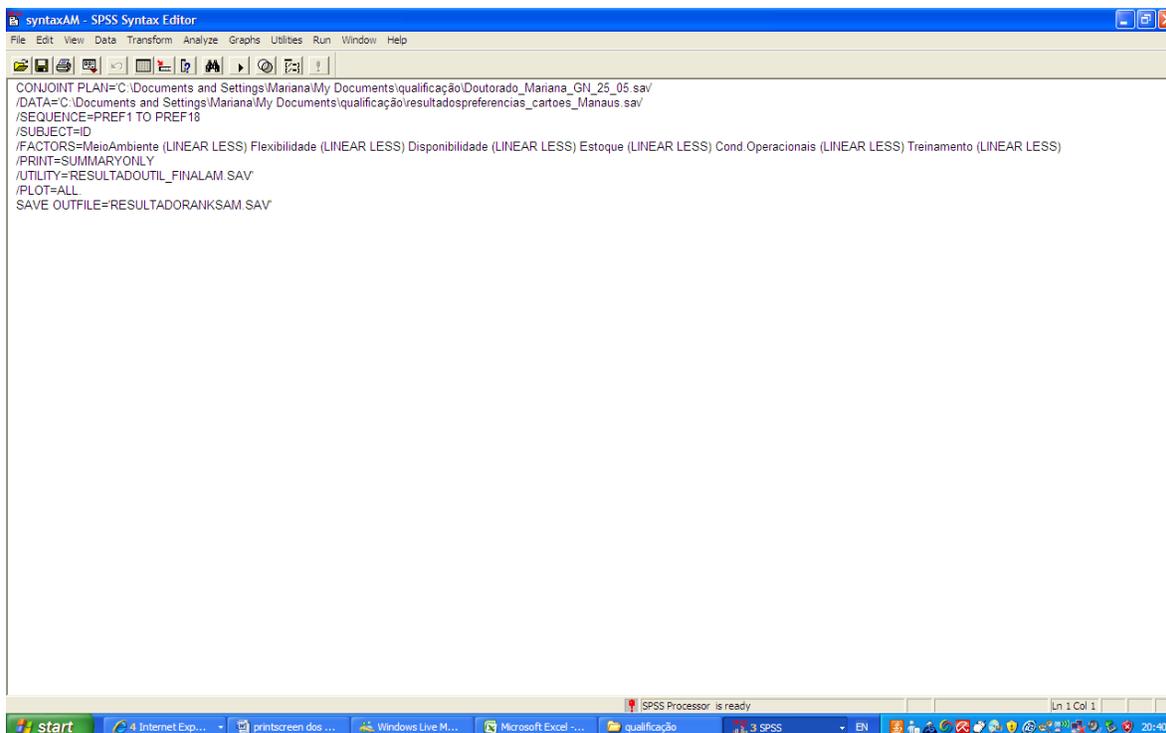


Figura B.20 – Sintaxe do planejamento do experimento para todos os setores do Estado do AM

### Arquivo de saída do SPSS, versão 13.0 para os dados agregados

Factor	Model	Levels	Label
MeioAmbiente	1<	2	Impacto ao meio ambiente
Flexibilidade	1<	2	Flexibilidade
Disponibilidade	1<	3	Disponibilidade
Estoque	1<	2	Estoque
Cond.Operacionais	1<	2	Condições Operacionais
Treinamento	1<	2	Treinamento

(Models: d=discrete, l=linear, i=ideal, ai=antiideal, <=less, >=more)

All the factors are orthogonal.



#### SUBFILE SUMMARY

Averaged Importance	Utility	Factor
32,03	-4,8625	MeioAmbi   Impacto ao meio ambiente
	-9,7250	--   Baixo impacto ao mei
		----   Alto impacto ao meio
	B = -4,8625	
14,17	-1,9750	Flexibil   Flexibilidade
		-   Possui flexibilidade

		-3,9500	--	Não possui flexibili
		B = -1,9750		
			Disponib	Disponibilidade
28,16		-1,9636	-	Fornecimento garanti
		-3,9273	--	Fornecimento com ris
		-5,8909	--	Não possui fornecime
		B = -1,9636		
			Estoque	Estoque
7,93		-,8000		Dispensa estocagem
		-1,6000	-	Necessita de estocag
		B = -,8000		
			Cond.Ope	Condições Operacionais
12,15		-1,7125	-	Desempenho equip./en
		-3,4250	-	Desempenho equip/ene
		B = -1,7125		
			Treiname	Treinamento
5,57		,0000		Dispensa treinamento
		,0000		Necessita de treinam
		B = ,0000		
		25,9614	CONSTANT	

Pearson's R = ,985

Significance = ,0000

Kendall's tau = ,917

Significance = ,0000

Kendall's tau = 1,000 for 2 holdouts

Significance = .

▼

#### SUBFILE SUMMARY

#### Reversal Summary:

1 subjects had 4 reversals  
 4 subjects had 2 reversals  
 8 subjects had 1 reversals

#### Reversals by factor:

Treinamento 9  
 Estoque 5  
 Cond.Operacionais 2  
 Disponibilidade 2

Flexibilidade 2  
MeioAmbiente 0

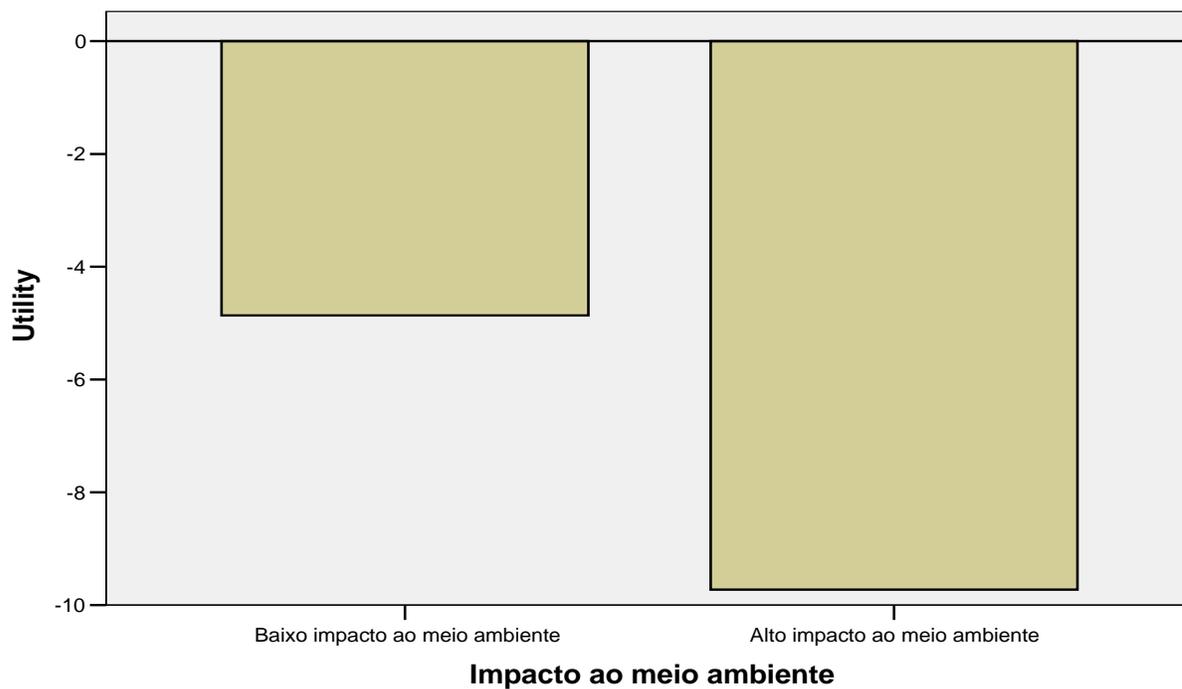
Reversal index:

Page	Reversals	Subject
1	2	1
1	0	2
1	0	3
1	1	4
1	1	5
1	1	6
1	1	7
1	0	8
1	1	9
1	1	10
1	2	11
1	1	12
1	0	13
1	0	14
1	0	15
1	4	16
1	2	17
1	2	18
1	1	19
1	0	20

Abbreviated Name	Extended Name
---------------------	------------------

Cond.Ope	Cond.Operacionais
Disponib	Disponibilidade
Flexibil	Flexibilidade
MeioAmbi	MeioAmbiente
Treiname	Treinamento

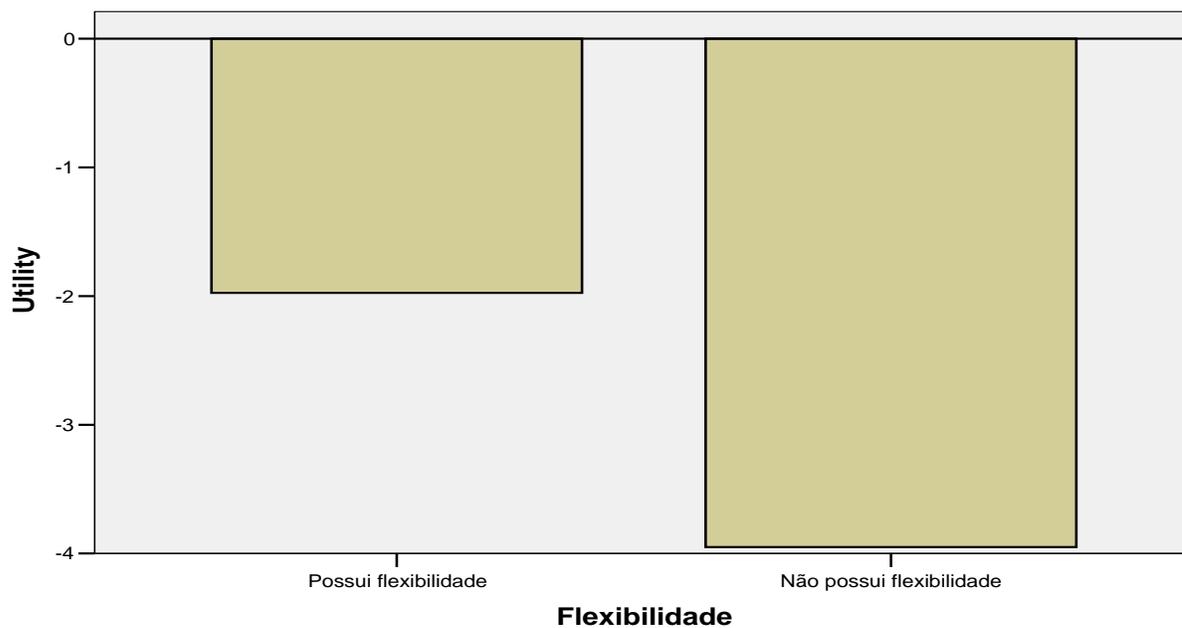
### Summary Utilities



B = -4,8625

Gráfico B.10– Utilidade agregada do atributo “impacto ao meio ambiente”

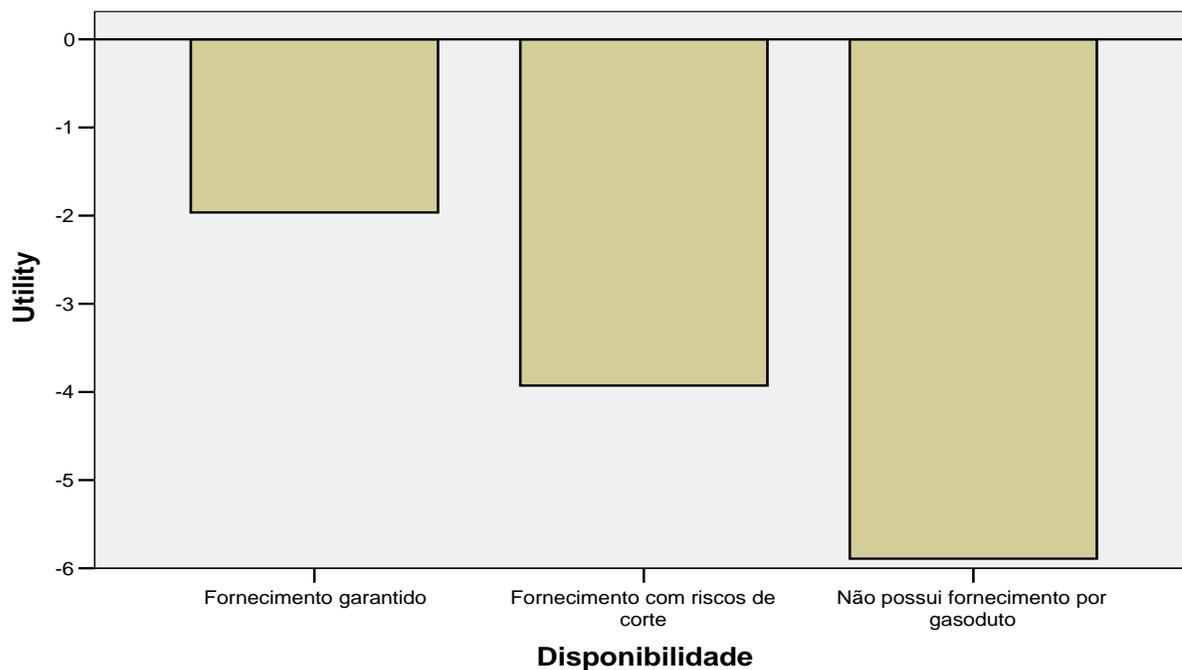
### Summary Utilities



B = -1,9750

Gráfico B.11 – Utilidade agregada do atributo “flexibilidade”

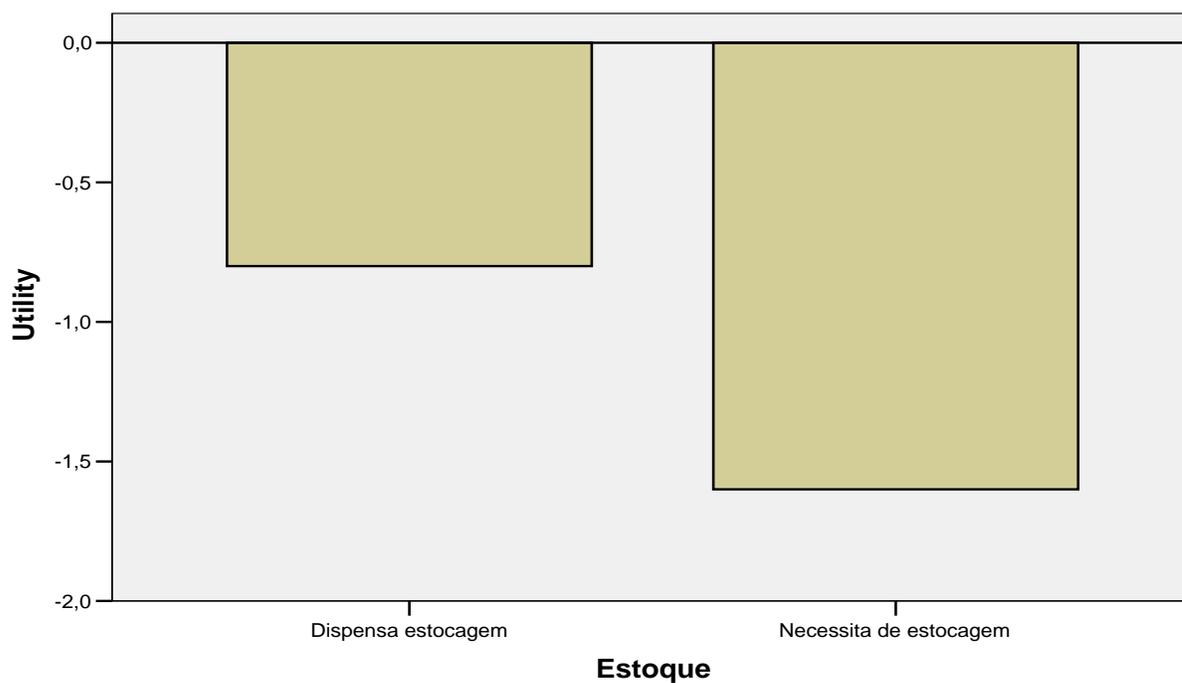
### Summary Utilities



B = -1,9636

Gráfico B.12 – Utilidade agregada do atributo “disponibilidade”

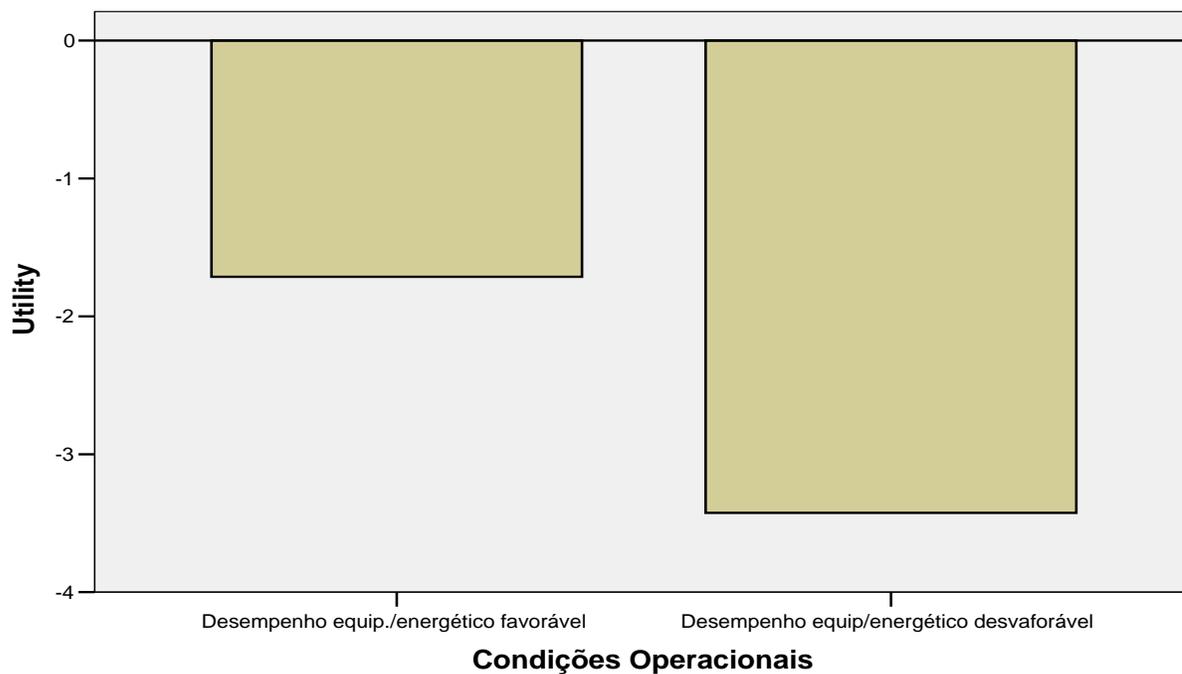
### Summary Utilities



B = -,8000

Gráfico B.13 – Utilidade agregada do atributo “estoque”

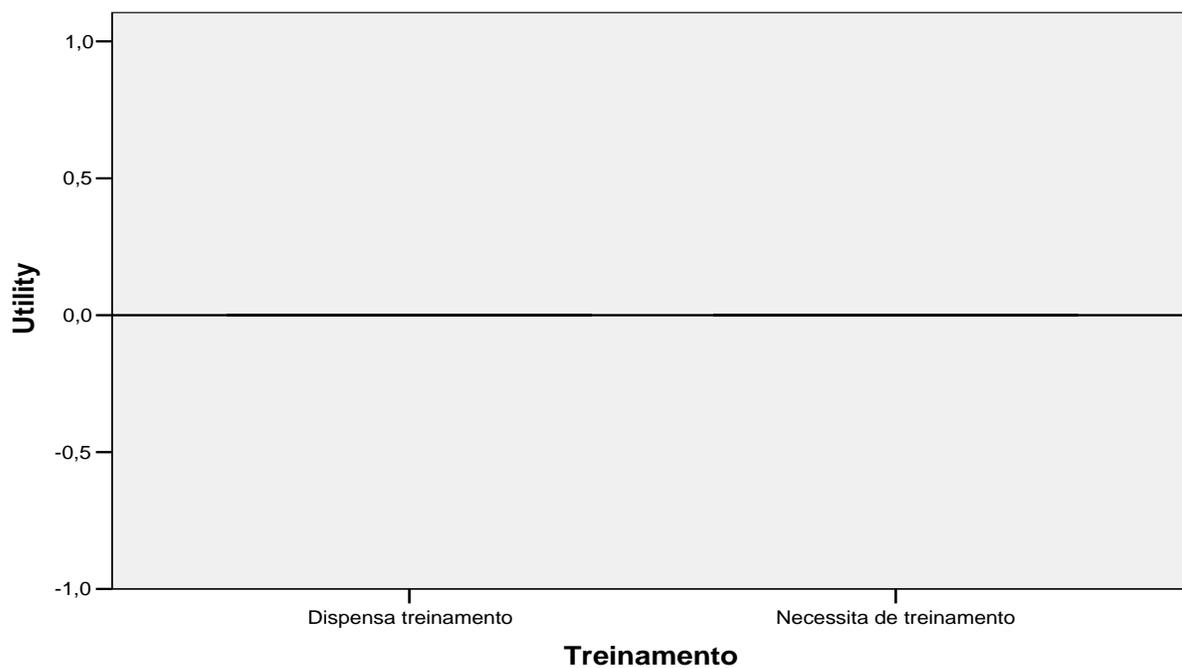
### Summary Utilities



B = -1,7125

Gráfico B.14 – Utilidade agregada do atributo “condições operacionais”

### Summary Utilities



B = ,0000

Gráfico B.15 – Utilidade agregada do atributo “treinamento”

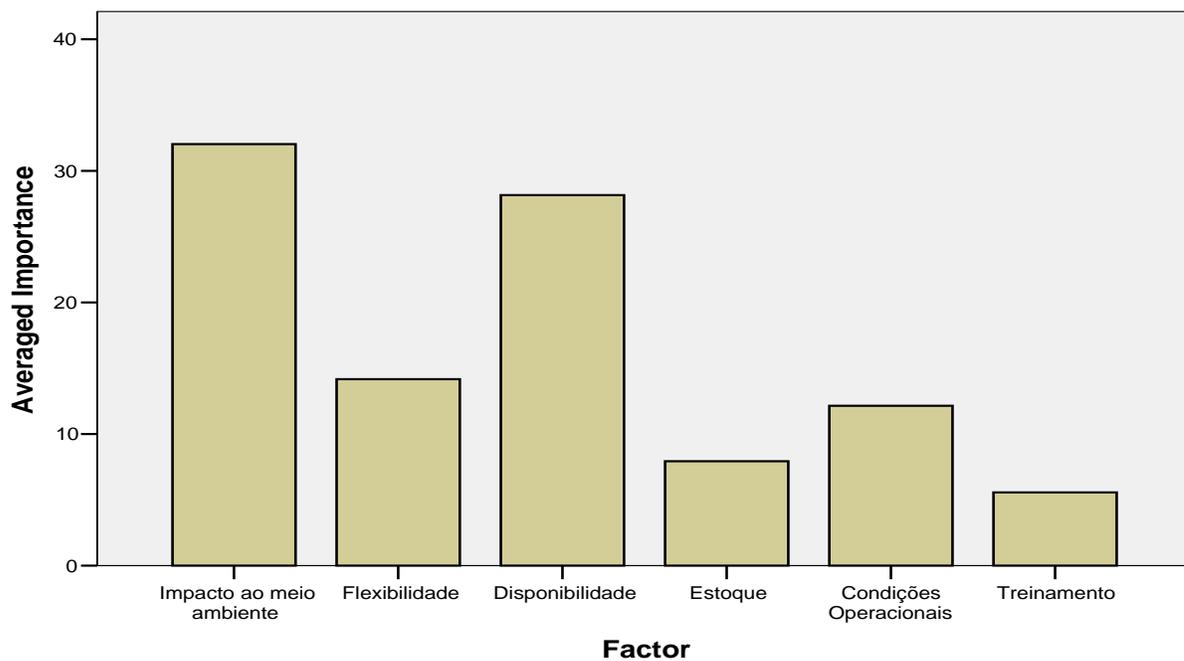
**Importance summary**

Gráfico B.16 – Importância por fator (atributo) do AM

Tabela B.4 – Resultado das utilidades parciais e scores por respondente

RESULTADOUTIL\_FINALAM.SAV - SPSS Data Editor

File Edit View Data Transform Analyze Graphs Utilities Window Help

25 : Disponibilidade\_I

	ID	CONSTANT	MeioAmbiente_L	Flexibilidade_L	Disponibilidade_L	Estoque_L	Cond.Operacionais_L	Treinamento_L	SCORE 1	SCORE 2	SCORE 3	SCORE 4	SCORE 5	SCORE 6	SCORE 7	SCORE 8	SCORE 9	SCORE 10	SCORE 11	SCORE 12	SCORE 13	SCORE 14	SCORE 15	SCORE 16	SCORE 17	SCORE 18	
1	1,00	27,20	-8,00	,25	-2,55	-,75	,25	-1,25	4,86	14,66	12,86	10,86	1,32	9,82	1,32	2,86	13,66	5,16	14,16	8,82	6,66	6,16	7,66	15,16	5,41	1,82	
2	2,00	29,48	,00	-,25	-1,27	-8,00	-4,00	-,25	10,43	3,70	14,18	2,18	8,66	,91	5,16	5,93	3,20	7,45	15,20	12,91	7,45	11,45	11,45	15,70	7,20	,91	
3	3,00	27,75	-8,00	-,25	-2,00	-2,00	,00	-,25	5,25	13,25	13,00	11,00	2,75	9,00	1,25	2,75	12,75	5,00	14,75	11,00	5,00	7,00	7,00	15,25	4,75	1,00	
4	4,00	27,94	-8,00	-2,75	-,18	-1,00	-2,50	1,50	4,33	11,51	12,08	12,83	2,90	8,40	5,65	4,58	10,26	7,51	13,76	16,15	3,26	6,01	1,76	15,01	4,76	,40	
5	5,00	29,88	-8,00	-1,25	,00	,50	-1,50	-4,00	6,13	14,63	14,38	10,63	,88	13,38	8,13	2,88	9,38	4,13	10,38	11,63	6,88	2,13	4,88	15,63	2,88	5,38	
6	6,00	18,92	-,25	-1,25	-4,45	,00	-,75	,50	7,26	11,97	7,01	8,01	2,06	1,81	3,56	7,26	11,22	12,97	11,97	4,31	11,22	12,22	10,47	12,72	11,72	1,56	
7	7,00	22,93	-,25	-1,25	-4,82	-,25	-3,00	,75	6,05	10,86	8,05	6,80	,73	-,02	3,98	8,30	10,36	14,36	13,61	5,23	12,36	11,61	9,61	14,11	13,11	-,27	
8	8,00	31,20	-8,00	-4,00	-,55	-1,50	-,50	-,50	7,11	14,16	11,61	13,11	2,07	9,07	5,57	1,61	9,66	6,16	11,66	14,57	2,66	7,16	3,66	16,16	2,16	1,07	
9	9,00	24,93	-8,00	-3,50	-,82	2,00	,00	-,50	5,30	16,11	9,80	14,80	,48	10,98	6,48	3,30	12,11	7,61	10,11	11,98	4,61	5,61	2,61	14,11	4,11	2,98	
10	10,00	24,53	-1,25	-1,50	-5,09	,25	-2,00	-,25	6,35	12,94	8,10	7,60	-,49	1,26	3,51	6,85	11,19	13,44	12,94	4,26	12,19	11,19	9,94	14,69	11,94	,01	
11	11,00	25,08	-8,00	-1,75	-1,55	-1,25	,75	1,00	5,49	13,78	10,99	13,24	3,19	8,94	1,94	2,74	13,03	6,03	13,53	12,19	3,28	8,03	5,28	14,28	4,28	,94	
12	12,00	24,53	-1,25	-3,00	-5,09	-,25	-,50	,25	7,85	13,94	6,60	9,10	,01	,76	3,01	5,35	11,19	13,44	11,94	4,76	10,19	13,19	9,94	14,69	10,44	-,49	
13	13,00	32,27	-8,00	-2,00	-,73	-,75	-2,75	-1,50	5,07	13,05	13,82	10,82	,84	9,59	6,34	3,57	9,55	6,30	13,05	13,59	5,80	4,30	3,80	16,55	4,30	1,59	
14	14,00	27,95	-8,00	-,50	-2,55	-1,50	,00	,00	4,86	13,91	12,36	11,36	1,82	8,32	,82	2,86	13,41	5,91	14,91	10,32	5,41	7,41	6,91	15,41	5,41	,32	
15	15,00	24,91	-1,50	-3,00	-5,09	,00	-,50	,00	7,73	14,32	6,73	9,23	-,36	1,14	3,14	5,23	11,32	13,32	11,82	4,64	10,32	12,82	9,82	14,82	10,32	-,36	
16	16,00	16,33	-5,00	,75	,45	,50	-5,50	3,50	,99	6,03	12,24	9,99	5,69	7,69	7,44	11,24	10,28	10,03	15,28	15,44	7,28	4,03	1,28	11,03	10,78	2,69	
17	17,00	27,24	-2,25	-8,00	-,64	,50	-2,25	,25	9,72	13,10	6,22	12,72	1,33	3,83	11,83	4,72	5,35	13,35	7,10	13,83	5,10	10,60	2,35	14,85	5,35	1,58	
18	18,00	19,55	-3,25	-2,50	,55	-1,25	-1,50	,50	7,89	9,34	10,14	10,39	6,43	7,93	8,68	6,14	7,34	8,09	10,09	13,68	5,09	7,84	4,84	12,09	5,59	4,68	
19	19,00	27,11	-2,25	-3,25	-1,64	-1,25	-4,00	,25	7,09	9,73	10,09	8,34	2,45	3,20	8,20	6,84	6,73	11,73	11,98	11,95	8,23	8,98	5,48	14,98	8,48	,95	
20	20,00	29,48	-8,00	-,50	-1,27	,00	-4,00	,00	2,43	11,70	13,93	10,43	,66	8,66	5,16	5,93	11,20	7,70	15,20	13,16	7,20	3,70	3,20	15,70	7,20	,66	
21																											
22																											
23																											
24																											
25																											
26																											
27																											
28																											
29																											
30																											
31																											
32																											
33																											
34																											
35																											
36																											
37																											
38																											

Data View Variable View /

SPSS Processor is ready

start 4 Internet Exp... printscreen dos ... Windows Live M... Microsoft Excel ... qualificação RESULTADOUTI... EN 20:57

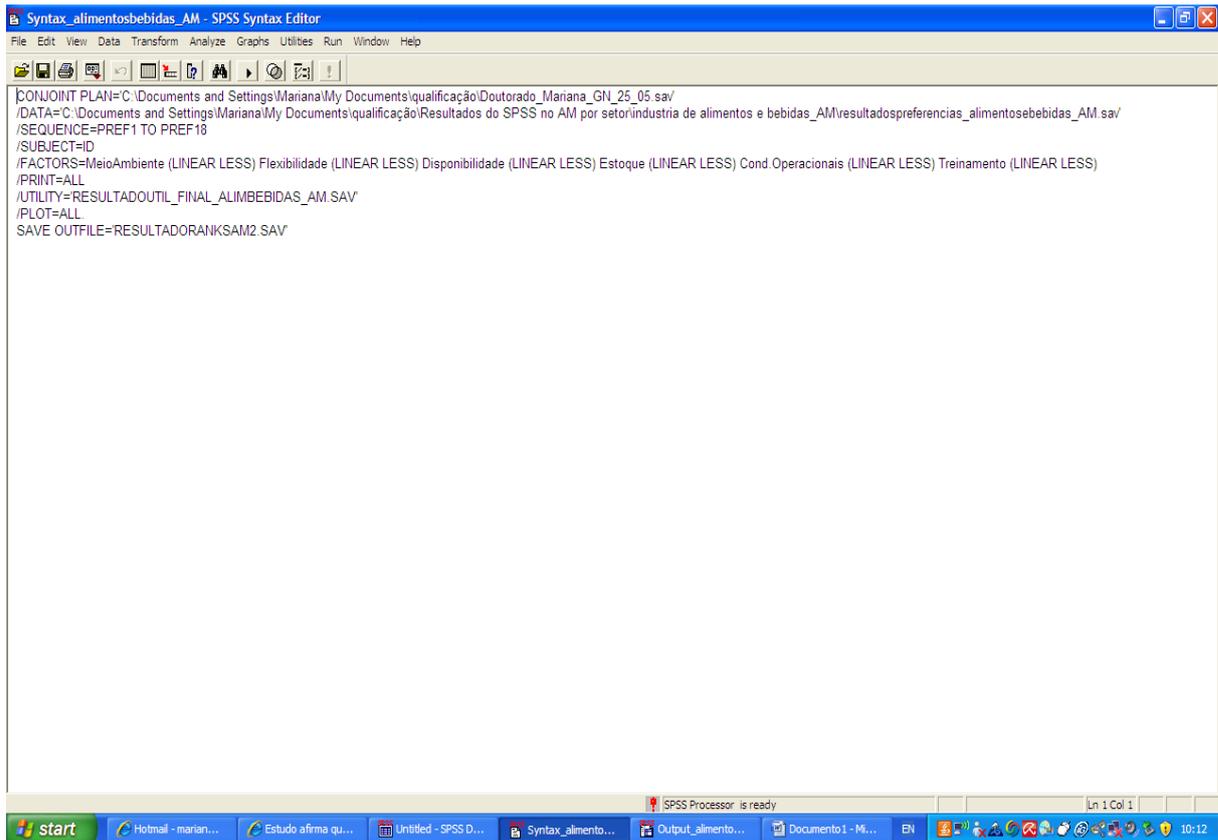


Figura B.21 – Sintaxe do planejamento do experimento para o setor de alimentos e bebidas do AM

### Arquivo de saída do SPSS, versão 13.0 para a indústria de alimentos e bebidas do AM

Factor	Model	Levels	Label
MeioAmbiente	l<	2	Impacto ao meio ambiente
Flexibilidade	l<	2	Flexibilidade
Disponibilidade	l<	3	Disponibilidade
Estoque	l<	2	Estoque
Cond.Operacionais	l<	2	Condições Operacionais
Treinamento	l<	2	Treinamento

(Models: d=discrete, l=linear, i=ideal, ai=antiideal, <=less, >=more)

All the factors are orthogonal.



SUBJECT NAME: 1

Importance Utility(s.e.) Factor

51,31	-8,0000 ( ,3989)	--	MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
		----		Baixo impacto ao mei
				Alto impacto ao meio
	B = -8,0000 ( ,3989)			
25,66	-4,0000 ( ,3989)	-	Flexibil	Flexibilidade
				Possui flexibilidade
		--		Não possui flexibili
	-8,0000 ( ,7977)			



		-1,6364 ( ,6556)		Fornecimento com ris
		-2,4545 ( ,9833)	-	Não possui fornecime
		B = -,8182 ( ,3278)		
12,79				Estoque ** Estoque
		2,0000 ( ,5436)		Dispensa estocagem
		4,0000 (1,0871)	-	Necessita de estocag
		B = 2,0000 ( ,5436)		
,00				Cond.Ope Condições Operacionais
		,0000 ( ,5436)		Desempenho equip./en
		,0000 (1,0871)		Desempenho equip/ene
		B = ,0000 ( ,5436)		
3,20				Treiname Treinamento
		-,5000 ( ,5436)		Dispensa treinamento
		-1,0000 (1,0871)		Necessita de treinam
		B = -,5000 ( ,5436)		
		24,9318 (1,9305)		CONSTANT

Pearson's R = ,984 Significance = ,0000

Kendall's tau = ,950 Significance = ,0000

Kendall's tau = 1,000 for 2 holdouts Significance = .



SUBJECT NAME: 3

Importance Utility(s.e.) Factor

53,01				MeioAmbi Impacto ao meio ambiente
		-8,0000 ( ,2752)	--	Baixo impacto ao mei
		-16,0000 ( ,5505)	----	Alto impacto ao meio
		B = -8,0000 ( ,2752)		
3,31				Flexibil Flexibilidade
		-,5000 ( ,2752)		Possui flexibilidade
		-1,0000 ( ,5505)		Não possui flexibili
		B = -,5000 ( ,2752)		
33,73				Disponib Disponibilidade
		-2,5455 ( ,1660)	-	Fornecimento garanti
		-5,0909 ( ,3320)	-	Fornecimento com ris
		-7,6364 ( ,4979)	--	Não possui fornecime
		B = -2,5455 ( ,1660)		



28,03	-4,0000 (2,2208) --	Cond.Ope	Condições Operacionais
	-8,0000 (4,4415) ----		Desempenho equip./en
	B = -4,0000 (2,2208)		Desempenho equip/ene
1,75	,2500 (2,2208)		Treiname ** Treinamento
	,5000 (4,4415)		Dispensa treinamento
	B = ,2500 (2,2208)		Necessita de treinam
	27,1136 (7,8872) CONSTANT		
Pearson's R = ,691		Significance = ,0015	
Kendall's tau = ,550		Significance = ,0015	
Kendall's tau = 1,000 for 2 holdouts		Significance = .	

▽

SUBJECT NAME: 5

Importance	Utility(s.e.)	Factor	
53,17	-8,0000 ( ,1812) --	MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
	-16,0000 ( ,3624) ----		Baixo impacto ao mei
	B = -8,0000 ( ,1812)		Alto impacto ao meio
3,32	-,5000 ( ,1812)		Flexibil
	-1,0000 ( ,3624)		Flexibilidade
	B = -,5000 ( ,1812)		Possui flexibilidade
			Não possui flexibili
16,92	-1,2727 ( ,1093)		Disponib
	-2,5455 ( ,2185) -		Disponibilidade
	-3,8182 ( ,3278) -		Fornecimento garanti
	B = -1,2727 ( ,1093)		Fornecimento com ris
			Não possui fornecime
,00	,0000 ( ,1812)		Estoque
	,0000 ( ,3624)		Estoque
	B = ,0000 ( ,1812)		Dispensa estocagem
			Necessita de estocag
26,59	-4,0000 ( ,1812) -	Cond.Ope	Condições Operacionais
	-8,0000 ( ,3624) --		Desempenho equip./en
			Desempenho equip/ene

```

      B = -4,0000 ( ,1812)
      ,00
      ,0000 ( ,1812)
      ,0000 ( ,3624)
      B = ,0000 ( ,1812)
      29,4773 ( ,6435) CONSTANT

Pearson's R   = ,998
Kendall's tau = 1,000
Kendall's tau = 1,000 for 2 holdouts

Significance = ,0000
Significance = ,0000
Significance = .

```



SUBFILE SUMMARY

Averaged Importance	Utility	Factor	
44,88	-6,8500 -13,700 B = -6,8500	MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente Baixo impacto ao mei Alto impacto ao meio
15,49	-2,3500 -4,7000 B = -2,3500	Flexibil	Flexibilidade Possui flexibilidade Não possui flexibili
18,21	-1,3636 -2,7273 -4,0909 B = -1,3636	Disponib	Disponibilidade Fornecimento garanti Fornecimento com ris Não possui fornecime
8,22	-,4500 -,9000 B = -,4500	Estoque	Estoque Dispensa estocagem Necessita de estocag
11,56	-1,7000 -3,4000 B = -1,7000	Cond.Ope	Condições Operacionais Desempenho equip./en Desempenho equip/ene
		Treiname	Treinamento

1,63	-,1500 -,3000 B = -,1500  28,1364	Dispensa treinamento Necessita de treinam
	CONSTANT	
Pearson's R =	,977	Significance = ,0000
Kendall's tau =	,924	Significance = ,0000
Kendall's tau =	1,000 for 2 holdouts	Significance = .

▼

#### SUBFILE SUMMARY

#### Reversal Summary:

2 subjects had 1 reversals

#### Reversals by factor:

Treinamento	1
Estoque	1
Cond.Operacionais	0
Disponibilidade	0
Flexibilidade	0
MeioAmbiente	0

#### Reversal index:

Page	Reversals	Subject
1	0	1
2	1	2
3	0	3
4	1	4
5	0	5

Abbreviated Name	Extended Name
Cond.Ope	Cond.Operacionais
Disponib	Disponibilidade
Flexibil	Flexibilidade
MeioAmbi	MeioAmbiente
Treiname	Treinamento

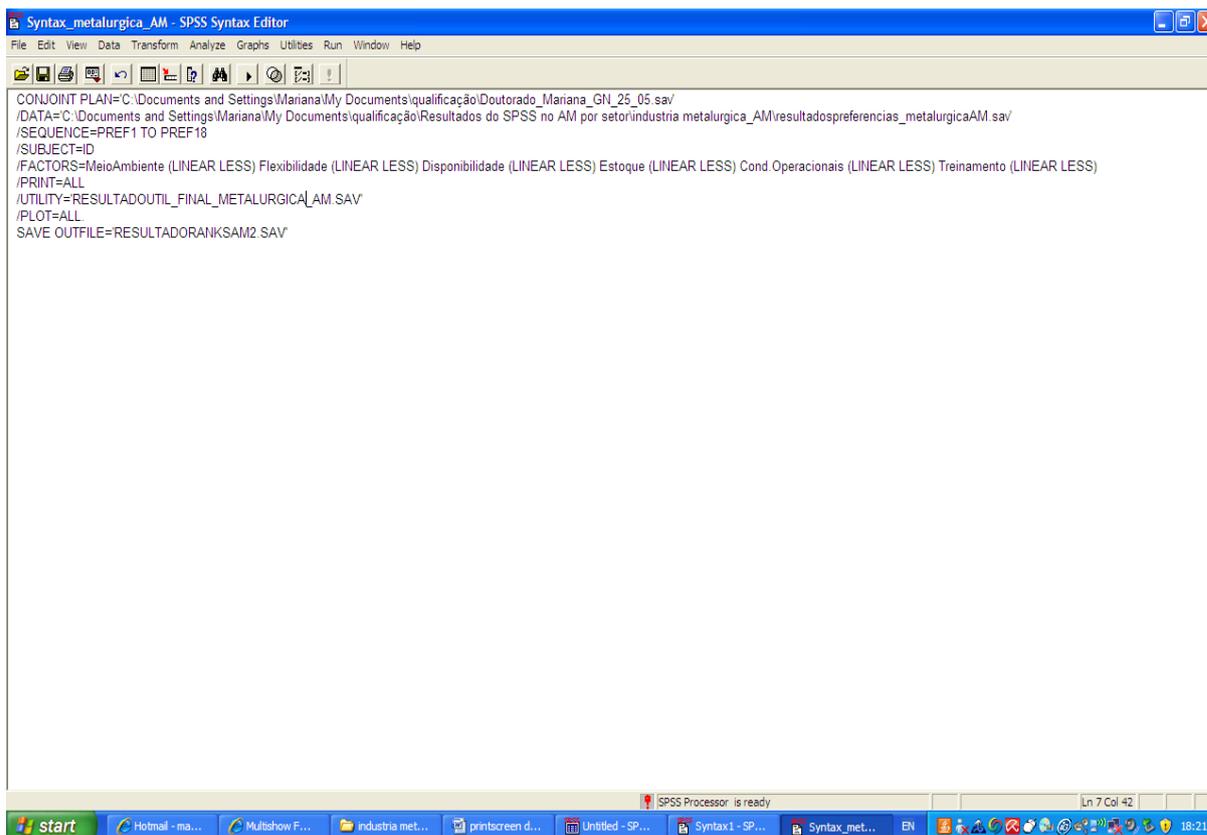


Figura B.22 – Sintaxe do planejamento do experimento para a indústria metalúrgica do Estado do AM

### Arquivo de saída do SPSS, versão 13.0 para a indústria metalúrgica

```

Factor           Model Levels  Label
MeioAmbiente    1<      2      Impacto ao meio ambiente
Flexibilidade    1<      2      Flexibilidade
Disponibilidade  1<      3      Disponibilidade
Estoque          1<      2      Estoque
Cond.Operacionais 1<      2      Condições Operacionais
Treinamento     1<      2      Treinamento
(Models: d=discrete, l=linear, i=ideal, ai=antiideal, <=less, >=more)

```

All the factors are orthogonal.

▼

SUBJECT NAME: 1

Importance Utility(s.e.) Factor \*\* Reversed ( 2 reversals)

		MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
51,31	-8,0000 ( ,3218)	--	Baixo impacto ao mei
	-16,0000 ( ,6435)	----	Alto impacto ao meio
	B = -8,0000 ( ,3218)		
		Flexibil	** Flexibilidade
1,60	,2500 ( ,3218)		Possui flexibilidade
	,5000 ( ,6435)		Não possui flexibili
	B = ,2500 ( ,3218)		

			Disponib	Disponibilidade
	32,65	-2,5455 ( ,1940)	-	Fornecimento garanti
		-5,0909 ( ,3881)	-	Fornecimento com ris
		-7,6364 ( ,5821)	--	Não possui fornecime
		B = -2,5455 ( ,1940)		
	4,81		Estoque	Estoque
		- ,7500 ( ,3218)		Dispensa estocagem
		-1,5000 ( ,6435)		Necessita de estocag
		B = - ,7500 ( ,3218)		
	1,60		Cond.Ope **	Condições Operacionais
		,2500 ( ,3218)		Desempenho equip./en
		,5000 ( ,6435)		Desempenho equip/ene
		B = ,2500 ( ,3218)		
	8,02		Treiname	Treinamento
		-1,2500 ( ,3218)		Dispensa treinamento
		-2,5000 ( ,6435)	-	Necessita de treinam
		B = -1,2500 ( ,3218)		
		27,2045 (1,1428)	CONSTANT	
	Pearson's R	= ,995		Significance = ,0000
	Kendall's tau	= ,996		Significance = ,0000
	Kendall's tau	= 1,000 for 2 holdouts		Significance = .

▼

SUBJECT NAME: 2

Importance Utility(s.e.) Factor

			MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
	55,17	-8,0000 ( ,8079)	--	Baixo impacto ao mei
		-16,000 (1,6159)	----	Alto impacto ao meio
		B = -8,0000 ( ,8079)		
	1,72		Flexibil	Flexibilidade
		- ,2500 ( ,8079)		Possui flexibilidade
		- ,5000 (1,6159)		Não possui flexibili
		B = - ,2500 ( ,8079)		
	27,59		Disponib	Disponibilidade
		-2,0000 ( ,4872)	-	Fornecimento garanti
		-4,0000 ( ,9744)	-	Fornecimento com ris

		-6,0000 (1,4616) --	Não possui fornecime
		B = -2,0000 ( ,4872)	
13,79		Estoque	Estoque
		-2,0000 ( ,8079) -	Dispensa estocagem
		-4,0000 (1,6159) -	Necessita de estocag
		B = -2,0000 ( ,8079)	
,00		Cond.Ope	Condições Operacionais
		,0000 ( ,8079)	Desempenho equip./en
		,0000 (1,6159)	Desempenho equip/ene
		B = ,0000 ( ,8079)	
1,72		Treiname	Treinamento
		-,2500 ( ,8079)	Dispensa treinamento
		-,5000 (1,6159)	Necessita de treinam
		B = -,2500 ( ,8079)	
		27,7500 (2,8695) CONSTANT	

Pearson's R = ,965 Significance = ,0000

Kendall's tau = ,865 Significance = ,0000

Kendall's tau = 1,000 for 2 holdouts Significance = .

▼

SUBJECT NAME: 3

Importance Utility(s.e.) Factor \*\* Reversed ( 1 reversal )

49,65		MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
		-8,0000 ( ,6538) --	Baixo impacto ao mei
		-16,000 (1,3075) ----	Alto impacto ao meio
		B = -8,0000 ( ,6538)	
17,07		Flexibil	Flexibilidade
		-2,7500 ( ,6538) -	Possui flexibilidade
		-5,5000 (1,3075) -	Não possui flexibili
		B = -2,7500 ( ,6538)	
2,26		Disponib	Disponibilidade
		-,1818 ( ,3942)	Fornecimento garanti
		-,3636 ( ,7885)	Fornecimento com ris
		-,5455 (1,1827)	Não possui fornecime
		B = -,1818 ( ,3942)	
		Estoque	Estoque

6,21		-1,0000 ( ,6538)		Dispensa estocagem
		-2,0000 (1,3075)	-	Necessita de estocag
		B = -1,0000 ( ,6538)		
15,51				Cond.Ope      Condições Operacionais
		-2,5000 ( ,6538)	-	Desempenho equip./en
		-5,0000 (1,3075)	-	Desempenho equip/ene
		B = -2,5000 ( ,6538)		
9,31				Treiname **      Treinamento
		1,5000 ( ,6538)		Dispensa treinamento
		3,0000 (1,3075)	-	Necessita de treinam
		B = 1,5000 ( ,6538)		
		27,9432 (2,3219) CONSTANT		
Pearson's R		= ,977	Significance = ,0000	
Kendall's tau		= ,933	Significance = ,0000	
Kendall's tau		= 1,000 for 2 holdouts	Significance = .	

▼

SUBJECT NAME:            4

Importance    Utility(s.e.)    Factor

48,62				MeioAmbi      Impacto ao meio ambiente
		-8,0000 ( ,7580)	--	Baixo impacto ao mei
		-16,000 (1,5159)	----	Alto impacto ao meio
		B = -8,0000 ( ,7580)		
12,15				Flexibil      Flexibilidade
		-2,0000 ( ,7580)	-	Possui flexibilidade
		-4,0000 (1,5159)	-	Não possui flexibili
		B = -2,0000 ( ,7580)		
8,84				Disponib      Disponibilidade
		-,7273 ( ,4571)		Fornecimento garanti
		-1,4545 ( ,9141)		Fornecimento com ris
		-2,1818 (1,3712)	-	Não possui fornecime
		B = -,7273 ( ,4571)		
4,56				Estoque      Estoque
		-,7500 ( ,7580)		Dispensa estocagem
		-1,5000 (1,5159)		Necessita de estocag
		B = -,7500 ( ,7580)		







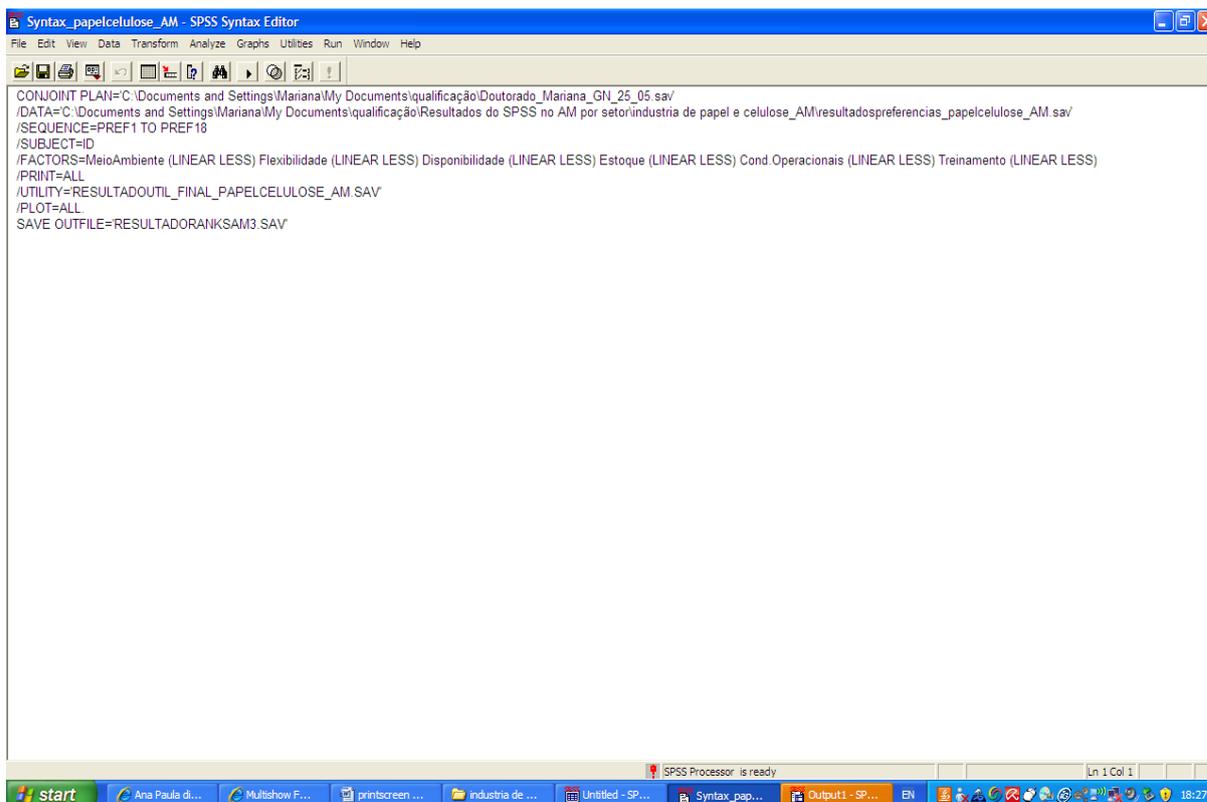


Figura B.23 – Sintaxe do planejamento do experimento para a indústria de papel e celulose do AM

### Arquivo de saída do SPSS, versão 13.0 para a indústria de papel e celulose do Estado do AM

Factor	Model	Levels	Label
MeioAmbiente	1<	2	Impacto ao meio ambiente
Flexibilidade	1<	2	Flexibilidade
Disponibilidade	1<	3	Disponibilidade
Estoque	1<	2	Estoque
Cond.Operacionais	1<	2	Condições Operacionais
Treinamento	1<	2	Treinamento

(Models: d=discrete, l=linear, i=ideal, ai=antiideal, <=less, >=more)

All the factors are orthogonal.



SUBJECT NAME: 1

Importance Utility(s.e.) Factor \*\* Reversed ( 1 reversal )

52,46	-8,0000 ( ,3227) -16,0000 ( ,6455)	MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
		--	Baixo impacto ao mei
		----	Alto impacto ao meio
	B = -8,0000 ( ,3227)		
8,20	-1,2500 ( ,3227) -2,5000 ( ,6455)	Flexibil	Flexibilidade
			Possui flexibilidade
		-	Não possui flexibili
	B = -1,2500 ( ,3227)		

		Disponib	Disponibilidade
,00		,0000 ( ,1946)	Fornecimento garanti
		,0000 ( ,3892)	Fornecimento com ris
		,0000 ( ,5839)	Não possui fornecime
		B = ,0000 ( ,1946)	
		Estoque **	Estoque
3,28		,5000 ( ,3227)	Dispensa estocagem
		1,0000 ( ,6455)	Necessita de estocag
		B = ,5000 ( ,3227)	
		Cond.Ope	Condições Operacionais
9,84		-1,5000 ( ,3227)	Desempenho equip./en
		-3,0000 ( ,6455) -	Desempenho equip/ene
		B = -1,5000 ( ,3227)	
		Treiname	Treinamento
26,23		-4,0000 ( ,3227) -	Dispensa treinamento
		-8,0000 ( ,6455) --	Necessita de treinam
		B = -4,0000 ( ,3227)	
		29,8750 (1,1463) CONSTANT	
Pearson's R	= ,994		Significance = ,0000
Kendall's tau	= ,967		Significance = ,0000
Kendall's tau	= 1,000 for 2 holdouts		Significance = .

▽

SUBJECT NAME: 2

Importance	Utility(s.e.)	Factor	** Reversed ( 1 reversal )
		MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
1,65		-,2500 (1,0493)	Baixo impacto ao mei
		-,5000 (2,0986)	Alto impacto ao meio
		B = -,2500 (1,0493)	
		Flexibil	Flexibilidade
8,26		-1,2500 (1,0493)	Possui flexibilidade
		-2,5000 (2,0986) -	Não possui flexibili
		B = -1,2500 (1,0493)	
		Disponib	Disponibilidade
63,66		-4,8182 ( ,6327) -	Fornecimento garanti
		-9,6364 (1,2655) ---	Fornecimento com ris
		-14,455 (1,8982) ----	Não possui fornecime

		B = -4,8182 ( ,6327)		
			Estoque	Estoque
1,65		- ,2500 (1,0493)		Dispensa estocagem
		- ,5000 (2,0986)		Necessita de estocag
		B = - ,2500 (1,0493)		
			Cond.Ope	Condições Operacionais
19,82		-3,0000 (1,0493)	-	Desempenho equip./en
		-6,0000 (2,0986)	--	Desempenho equip/ene
		B = -3,0000 (1,0493)		
			Treiname **	Treinamento
4,95		,7500 (1,0493)		Dispensa treinamento
		1,5000 (2,0986)		Necessita de treinam
		B = ,7500 (1,0493)		
		22,9318 (3,7266)	CONSTANT	
	Pearson's R	= ,940		Significance = ,0000
	Kendall's tau	= ,833		Significance = ,0000
	Kendall's tau	= 1,000 for 2 holdouts		Significance = .

▽

SUBJECT NAME: 3

Importance	Utility(s.e.)	Factor	** Reversed ( 2 reversals)
		MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
32,21		--	Baixo impacto ao mei
		----	Alto impacto ao meio
		B = -3,2500 (2,6522)	
		Flexibil	Flexibilidade
24,77		--	Possui flexibilidade
		---	Não possui flexibili
		B = -2,5000 (2,6522)	
		Disponib **	Disponibilidade
10,81			Fornecimento garanti
		-	Fornecimento com ris
		-	Não possui fornecime
		B = ,5455 (1,5993)	
		Estoque	Estoque
12,39		-	Dispensa estocagem

		-2,5000 (5,3044) --	Necessita de estocag
		B = -1,2500 (2,6522)	
14,86			Cond.Ope      Condições Operacionais
		-1,5000 (2,6522) -	Desempenho equip./en
		-3,0000 (5,3044) --	Desempenho equip/ene
		B = -1,5000 (2,6522)	
4,95			Treiname ** Treinamento
		,5000 (2,6522)	Dispensa treinamento
		1,0000 (5,3044) -	Necessita de treinam
		B = ,5000 (2,6522)	
		19,5455 (9,4194) CONSTANT	

Pearson's R = ,505                      Significance = ,0230

Kendall's tau = ,300                      Significance = ,0525

Kendall's tau = 1,000 for 2 holdouts      Significance = .

▽

#### SUBFILE SUMMARY

Averaged Importance	Utility	Factor	
28,77	-3,8333	MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
	-7,6667	--	Baixo impacto ao mei
		----	Alto impacto ao meio
	B = -3,8333		
13,74	-1,6667	Flexibil	Flexibilidade
	-3,3333	-	Possui flexibilidade
		--	Não possui flexibili
	B = -1,6667		
24,82	-1,4242	Disponib	Disponibilidade
	-2,8485	-	Fornecimento garanti
	-4,2727	--	Fornecimento com ris
			Não possui fornecime
	B = -1,4242		
5,77	-,3333	Estoque	Estoque
	-,6667		Dispensa estocagem
			Necessita de estocag
	B = -,3333		

14,84	<input type="checkbox"/>	-2,0000	Cond.Ope	Condições Operacionais
		-4,0000	-	Desempenho equip./en
			--	Desempenho equip/ene
		B = -2,0000		
12,05	<input type="checkbox"/>	-,9167	Treiname	Treinamento
		-1,8333	-	Dispensa treinamento
		B = -,9167		Necessita de treinam
		24,1174	CONSTANT	

Pearson's R = ,908                      Significance = ,0000

Kendall's tau = ,758                      Significance = ,0000

Kendall's tau = 1,000 for 2 holdouts      Significance = .

▼

#### SUBFILE SUMMARY

#### Reversal Summary:

1 subjects had 2 reversals  
2 subjects had 1 reversals

#### Reversals by factor:

Treinamento 2  
Estoque 1  
Disponibilidade 1  
Cond.Operacionais 0  
Flexibilidade 0  
MeioAmbiente 0

#### Reversal index:

Page	Reversals	Subject
1	1	1
2	1	2
3	2	3

Abbreviated Name	Extended Name
------------------	---------------

Cond.Ope	Cond.Operacionais
Disponib	Disponibilidade
Flexibil	Flexibilidade
MeioAmbi	MeioAmbiente
Treiname	Treinamento

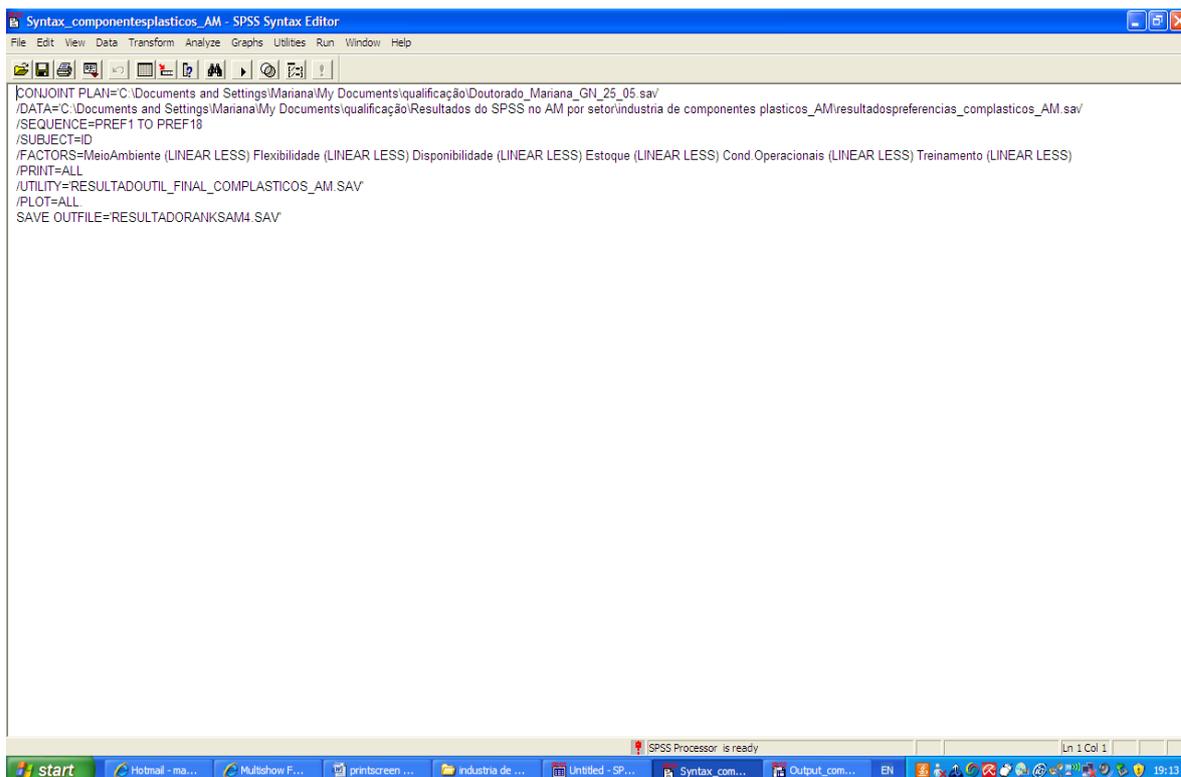


Figura B.24 – Sintaxe do planejamento do experimento para a indústria de componentes plásticos do AM

### Arquivo de saída, versão 13.0 para a indústria de componentes plásticos do AM

Factor	Model	Levels	Label
MeioAmbiente	l<	2	Impacto ao meio ambiente
Flexibilidade	l<	2	Flexibilidade
Disponibilidade	l<	3	Disponibilidade
Estoque	l<	2	Estoque
Cond.Operacionais	l<	2	Condições Operacionais
Treinamento	l<	2	Treinamento

(Models: d=discrete, l=linear, i=ideal, ai=antiideal, <=less, >=more)

All the factors are orthogonal.



SUBJECT NAME: 1

Importance Utility(s.e.) Factor \*\* Reversed ( 2 reversals)

Importance	Utility(s.e.)	Factor	** Reversed ( 2 reversals)
50,50	-8,0000 ( ,9571)	MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
		--	Baixo impacto ao mei
		----	Alto impacto ao meio
		B = -8,0000 ( ,9571)	
11,05	-1,7500 ( ,9571)	Flexibil	Flexibilidade
			Possui flexibilidade
		-	Não possui flexibili
		B = -1,7500 ( ,9571)	



	B = -5,0909 ( ,3357)		
1,62		Estoque	Estoque
	- ,2500 ( ,5568)		Dispensa estocagem
	- ,5000 (1,1135)		Necessita de estocag
	B = - ,2500 ( ,5568)		
3,24		Cond.Ope	Condições Operacionais
	- ,5000 ( ,5568)		Desempenho equip./en
	-1,0000 (1,1135)		Desempenho equip/ene
	B = - ,5000 ( ,5568)		
1,62		Treiname **	Treinamento
	,2500 ( ,5568)		Dispensa treinamento
	,5000 (1,1135)		Necessita de treinam
	B = ,2500 ( ,5568)		
	24,5341 (1,9773) CONSTANT		

Pearson's R = ,983                      Significance = ,0000

Kendall's tau = ,967                      Significance = ,0000

Kendall's tau = 1,000 for 2 holdouts      Significance = .

▽

SUBJECT NAME:                      3

Importance	Utility(s.e.)	Factor	
9,88		MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
	-1,5000 ( ,4975)		Baixo impacto ao mei
	-3,0000 ( ,9949)	-	Alto impacto ao meio
	B = -1,5000 ( ,4975)		
19,76		Flexibil	Flexibilidade
	-3,0000 ( ,4975)	-	Possui flexibilidade
	-6,0000 ( ,9949)	--	Não possui flexibili
	B = -3,0000 ( ,4975)		
67,07		Disponib	Disponibilidade
	-5,0909 ( ,3000)	-	Fornecimento garanti
	-10,182 ( ,6000)	---	Fornecimento com ris
	-15,273 ( ,9000)	----	Não possui fornecime
	B = -5,0909 ( ,3000)		
,00		Estoque	Estoque
	,0000 ( ,4975)		Dispensa estocagem

		,0000 ( ,9949)		Necessita de estocag
	B =	,0000 ( ,4975)		
				Cond.Ope
3,29		-,5000 ( ,4975)		Condições Operacionais
		-1,0000 ( ,9949)		Desempenho equip./en
	B =	-,5000 ( ,4975)		Desempenho equip/ene
				Treiname
		,0000 ( ,4975)		Treinamento
,00		,0000 ( ,9949)		Dispensa treinamento
	B =	,0000 ( ,4975)		Necessita de treinam
				24,9091 (1,7668) CONSTANT

Pearson's R = ,987 Significance = ,0000

Kendall's tau = 1,000 Significance = ,0000

Kendall's tau = 1,000 for 2 holdouts Significance = .



SUBJECT NAME: 4

Importance Utility(s.e.) Factor \*\* Reversed ( 4 reversals)

				MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
30,94		-5,0000 (1,3383)	--		Baixo impacto ao mei
		-10,0000 (2,6766)	----		Alto impacto ao meio
	B =	-5,0000 (1,3383)			
				Flexibil	** Flexibilidade
4,64		,7500 (1,3383)			Possui flexibilidade
		1,5000 (2,6766)	-		Não possui flexibili
	B =	,7500 (1,3383)			
				Disponib	** Disponibilidade
5,63		,4545 ( ,8070)			Fornecimento garanti
		,9091 (1,6140)			Fornecimento com ris
		1,3636 (2,4211)			Não possui fornecime
	B =	,4545 ( ,8070)			
				Estoque	** Estoque
3,09		,5000 (1,3383)			Dispensa estocagem
		1,0000 (2,6766)			Necessita de estocag
	B =	,5000 (1,3383)			
				Cond.Ope	Condições Operacionais



7,40	1,1875 2,3750 B = 1,1875 22,7131	Treiname   -   - CONSTANT	Treinamento Dispensa treinamento Necessita de treinam
------	---	------------------------------------	---

Pearson's R = ,970                      Significance = ,0000  
 Kendall's tau = ,879                      Significance = ,0000  
 Kendall's tau = 1,000 for 2 holdouts      Significance = .

▼

#### SUBFILE SUMMARY

#### Reversal Summary:

1 subjects had 4 reversals  
 1 subjects had 2 reversals  
 1 subjects had 1 reversals

#### Reversals by factor:

Treinamento 3  
 Cond.Operacionais 1  
 Estoque 1  
 Disponibilidade 1  
 Flexibilidade 1  
 MeioAmbiente 0

#### Reversal index:

Page	Reversals	Subject
2	2	1
3	1	2
4	0	3
5	4	4

Abbreviated Name	Extended Name
------------------	---------------

Cond.Ope	Cond.Operacionais
Disponib	Disponibilidade
Flexibil	Flexibilidade
MeioAmbi	MeioAmbiente
Treiname	Treinamento

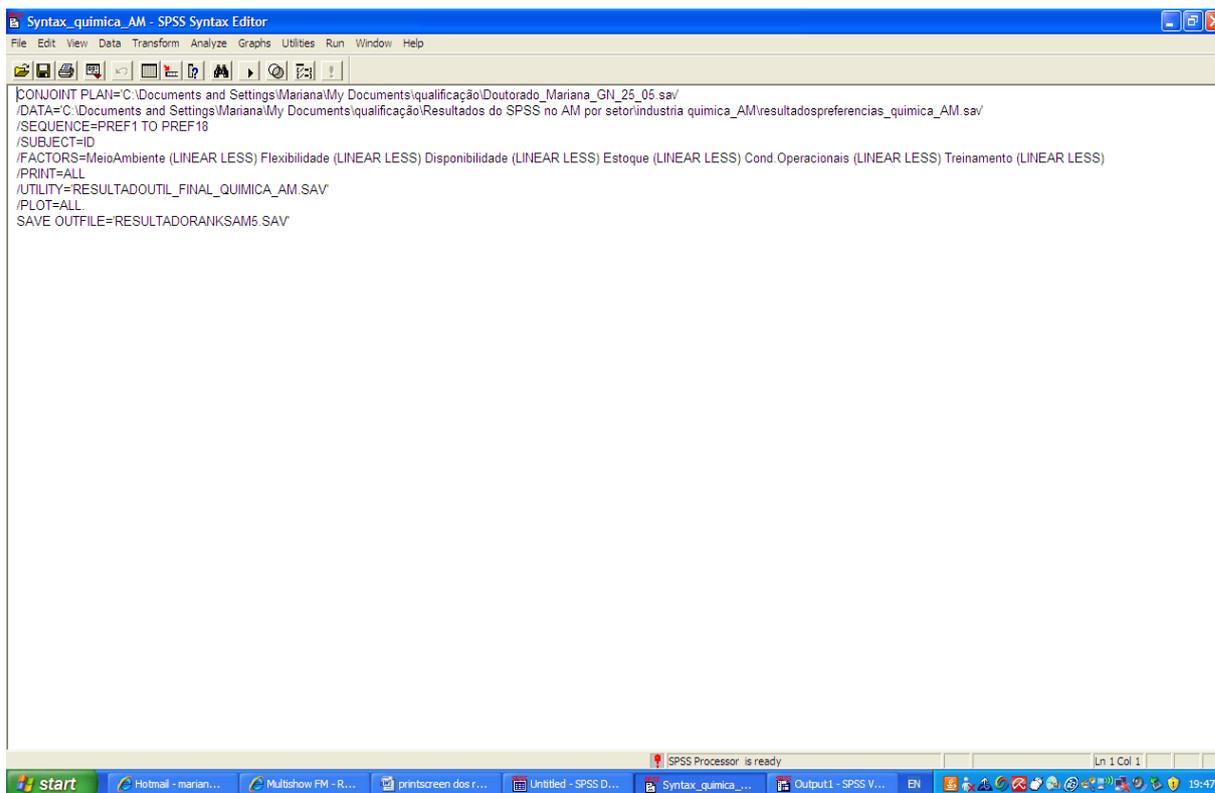


Figura B.25 – Sintaxe do planejamento do experimento para a indústria química do AM

### Arquivo de saída do SPSS, versão 13.0 para a indústria química do AM

Factor	Model	Levels	Label
MeioAmbiente	1<	2	Impacto ao meio ambiente
Flexibilidade	1<	2	Flexibilidade
Disponibilidade	1<	3	Disponibilidade
Estoque	1<	2	Estoque
Cond.Operacionais	1<	2	Condições Operacionais
Treinamento	1<	2	Treinamento

(Models: d=discrete, l=linear, i=ideal, ai=antiideal, <=less, >=more)

All the factors are orthogonal.



SUBJECT NAME: 1

Importance Utility(s.e.) Factor

,00	,0000 ( ,2161) ,0000 ( ,4323)	MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
			Baixo impacto ao mei
			Alto impacto ao meio
	B = ,0000 ( ,2161)		
1,66	-,2500 ( ,2161) -,5000 ( ,4323)	Flexibil	Flexibilidade
			Possui flexibilidade
			Não possui flexibili
	B = -,2500 ( ,2161)		



		B = -4,4545 (1,0635)		
			Estoque	Estoque
,00		,0000 (1,7637)		Dispensa estocagem
		,0000 (3,5273)		Necessita de estocag
		B = ,0000 (1,7637)		
			Cond.Ope	Condições Operacionais
6,43		-,7500 (1,7637)		Desempenho equip./en
		-1,5000 (3,5273)		Desempenho equip/ene
		B = -,7500 (1,7637)		
			Treiname **	Treinamento
4,29		,5000 (1,7637)		Dispensa treinamento
		1,0000 (3,5273)		Necessita de treinam
		B = ,5000 (1,7637)		
		18,9205 (6,2637) CONSTANT		
Pearson's R	=	,819		Significance = ,0001
Kendall's tau	=	,667		Significance = ,0002
Kendall's tau	=	1,000 for 2 holdouts		Significance = .

▽

SUBJECT NAME: 3

Importance	Utility(s.e.)	Factor	** Reversed ( 1 reversal )
		MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
8,10		-1,2500 ( ,8021)	Baixo impacto ao mei
		-2,5000 (1,6041) -	Alto impacto ao meio
		B = -1,2500 ( ,8021)	
		Flexibil	Flexibilidade
9,72		-1,5000 ( ,8021)	Possui flexibilidade
		-3,0000 (1,6041) -	Não possui flexibili
		B = -1,5000 ( ,8021)	
		Disponib	Disponibilidade
65,98		-5,0909 ( ,4837) -	Fornecimento garanti
		-10,182 ( ,9673) ---	Fornecimento com ris
		-15,273 (1,4510) ----	Não possui fornecime
		B = -5,0909 ( ,4837)	
		Estoque **	Estoque
1,62		,2500 ( ,8021)	Dispensa estocagem

		,5000(1,6041)		Necessita de estocag
		B = ,2500(,8021)		
12,96			Cond.Ope	Condições Operacionais
		-2,0000(,8021)	-	Desempenho equip./en
		-4,0000(1,6041)	-	Desempenho equip/ene
		B = -2,0000(,8021)		
1,62			Treiname	Treinamento
		-,2500(,8021)		Dispensa treinamento
		-,5000(1,6041)		Necessita de treinam
		B = -,2500(,8021)		
		24,5341(2,8486)	CONSTANT	
Pearson's R		= ,965		Significance = ,0000
Kendall's tau		= ,908		Significance = ,0000
Kendall's tau		= 1,000 for 2 holdouts		Significance = .

▽

#### SUBFILE SUMMARY

Averaged Importance	Utility	Factor	
3,41		MeioAmbi	Impacto ao meio ambiente
			Baixo impacto ao mei
			Alto impacto ao meio
			B = -,5000
7,37		Flexibil	Flexibilidade
			Possui flexibilidade
			Não possui flexibili
			B = -1,0000
53,10		Disponib	Disponibilidade
			Fornecimento garanti
			Fornecimento com ris
			Não possui fornecime
			B = -3,6061
18,26		Estoque	Estoque
			Dispensa estocagem
			Necessita de estocag
			B = -2,5833



**APÊNDICE C**  
**ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS**

## Passo a passo do *Frontier Analyst*

### Processamento da DEA

#### A) Criando um novo projeto

Após selecionar e copiar células no Excel contendo as unidades (DMUs) e variáveis de *input* e de *output*, deve-se abrir o *Frontier Analyst Professional*. Para abrir, será necessário seguir o seguinte caminho: Iniciar → Todos os programas → Pasta *Banxia Frontier Analyst3* → *Frontier Analyst Professional*. As Figuras C.1 apresenta a tela de abertura do programa na sequência de apresentação.

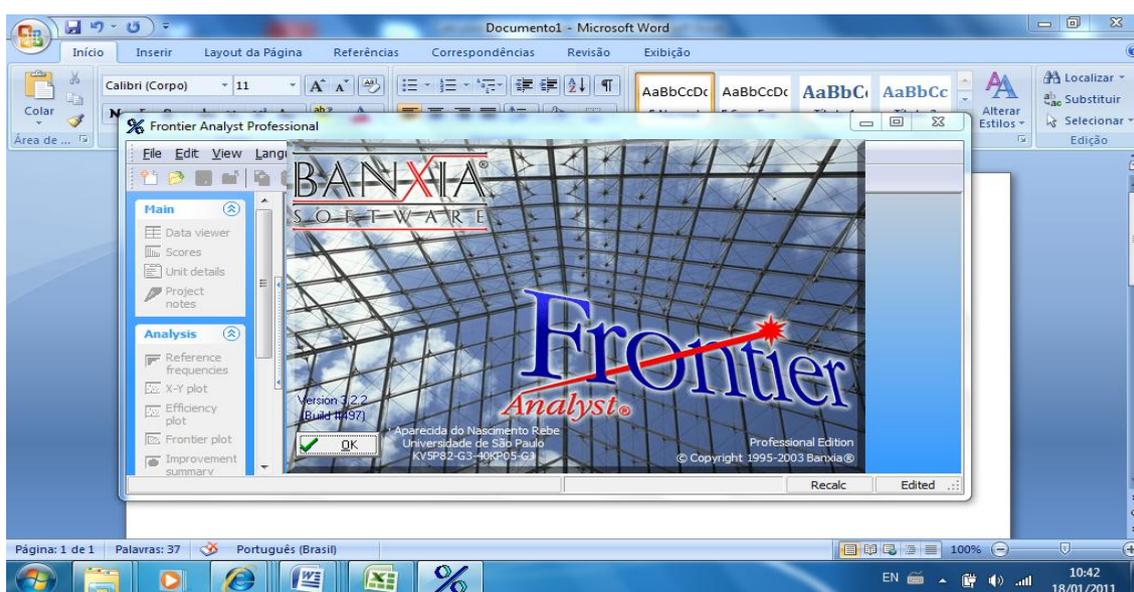


Figura C.1 – Primeira tela de abertura do Programa

Após a apresentação da tela anterior, seleciona-se, no menu “File”, a opção “New Project”. Serão mostradas várias opções que refletem diversas fontes de recursos (área de transferência, arquivo, Excel, SPSS ou digitar em um editor de dados). Veja Figura C.2.

Antes de prosseguir, é importante lembrar que os dados copiados devem ser organizados com as unidades em linhas e as variáveis em colunas.

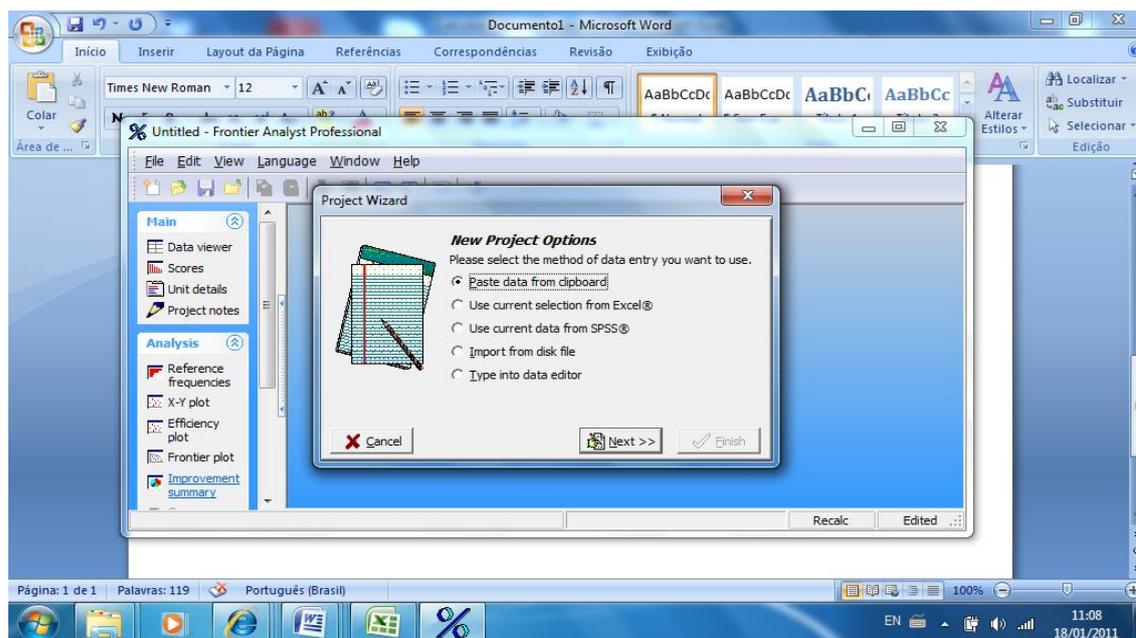


Figura C.2 – Segunda tela de abertura do Programa

Como os dados já foram copiados do Excel, seleciona-se a primeira opção, que é a de copiar dados de uma área de transferência. Após selecionada a opção adequada relacionada à fonte de recursos, deve-se dar prosseguimento clicando em “next”.

A etapa de análise da área de transferência é apresentada como um conjunto de possíveis formas de interpretação dos dados. Em geral, não é necessário alterar as opções apresentadas. No entanto, se a importação de dados não funcionou como esperado, é possível fazer modificações. Veja Figura C.3.

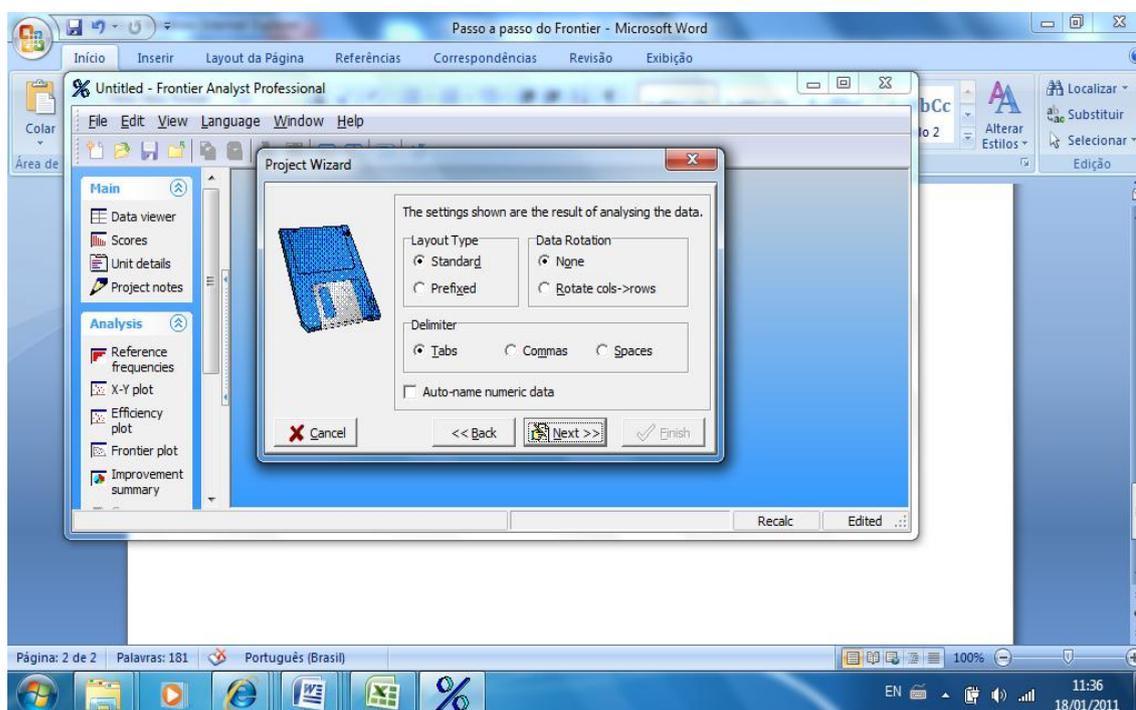


Figura C.3 – Selecionando opções de acordo com as características da fonte de recursos

Para iniciar a importação de dados, deve-se prosseguir clicando em “next”. O andamento da importação é apresentado, à medida em que ela ocorre. Para visualizar melhor como isso acontece, veja a Figura C.4.

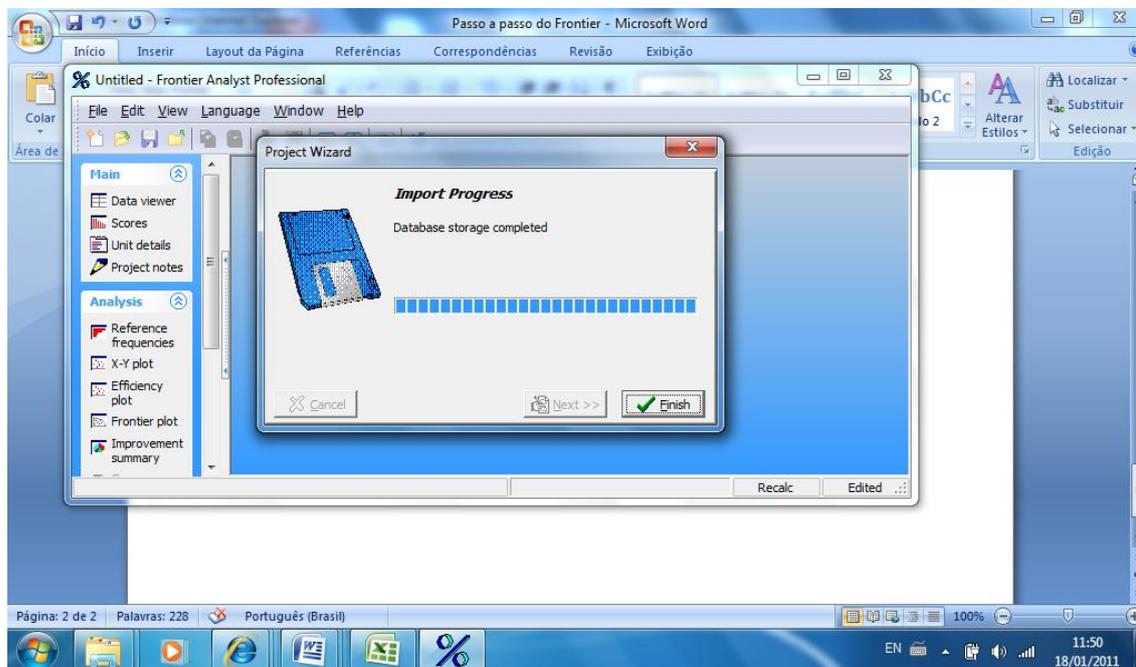


Figura C.4 – Importando dados

O tempo necessário para importação dependerá da velocidade do computador e do tamanho do conjunto de dados. Depois de finalizada a importação, o status final será mostrado, e será necessário selecionar “Finish” para concluir a criação do projeto. Em seguida, abrirá a janela “Data Viewer”.

Unit Name	Active	Input1 Normalizado (Gasto c/ consumo de comb.em R\$/Energia entregue em kJ/h)	Input2 Normalizado (Emissão de CO2 em ton)
Fabricante1/ETD-1000/GLP	<input checked="" type="checkbox"/>		1,00
Fabricante1/ETD-1000/GN	<input checked="" type="checkbox"/>		0,57
Fabricante1/ETD-1000/Lenha	<input checked="" type="checkbox"/>		0,20
Fabricante1/ETD-1000/Carvão vege	<input checked="" type="checkbox"/>		0,18
Fabricante1/ETD-1000/Óleo Diesel	<input checked="" type="checkbox"/>		0,88
Fabricante1/ETD-1500/GLP	<input checked="" type="checkbox"/>		1,00
Fabricante1/ETD-1500/GN	<input checked="" type="checkbox"/>		0,57
Fabricante1/ETD-1500/Lenha	<input checked="" type="checkbox"/>		0,20
Fabricante1/ETD-1500/Carvão vege	<input checked="" type="checkbox"/>		0,18
Fabricante1/ETD-1500/Óleo Diesel	<input checked="" type="checkbox"/>		0,88
Fabricante1/ETD-2000/GLP	<input checked="" type="checkbox"/>		1,00
Fabricante1/ETD-2000/GN	<input checked="" type="checkbox"/>		0,57
Fabricante1/ETD-2000/Lenha	<input checked="" type="checkbox"/>		0,20
Fabricante1/ETD-2000/Carvão vege	<input checked="" type="checkbox"/>		0,18
Fabricante1/ETD-2000/Óleo Diesel	<input checked="" type="checkbox"/>		0,88
Fabricante2/BMH-1000/GLP	<input checked="" type="checkbox"/>		1,00
Fabricante2/BMH-1000/GN	<input checked="" type="checkbox"/>		0,58
Fabricante2/BMH-1000/Óleo Diesel	<input checked="" type="checkbox"/>		0,72
Fabricante2/BMH-1000/Lenha	<input checked="" type="checkbox"/>		0,24
Fabricante2/BMH-1500/GLP	<input checked="" type="checkbox"/>		1,00
Fabricante2/BMH-1500/GN	<input checked="" type="checkbox"/>		0,58

Figura C.5 – Tela “Data Viewer”

Como é possível visualizar pela Figura C.5, a tela Data Viewer apresenta os *inputs* e *outputs* de cada DMU.

Após obter a tela “Data Viewer”, deve-se identificar o tipo de cada variável. Para isso, será necessário selecionar qualquer célula contida na coluna da variável e, em seguida, selecionar, no campo *input/output type*, a mais adequada opção entre: *controlled input*, *uncontrolled input* ou *output*.

Feita a seleção, será necessário identificar a orientação do modelo e o retorno de escala na tela de opções de análises. Para obter essa tela, será necessário selecionar o botão de “show DEA options” identificado pelo desenho apresentado abaixo. Esse botão é encontrado na barra de ferramentas principal. A Figura C.6 apresenta a tela de opções de análise (*Analysis Options*).

 → Botão “show DEA options”

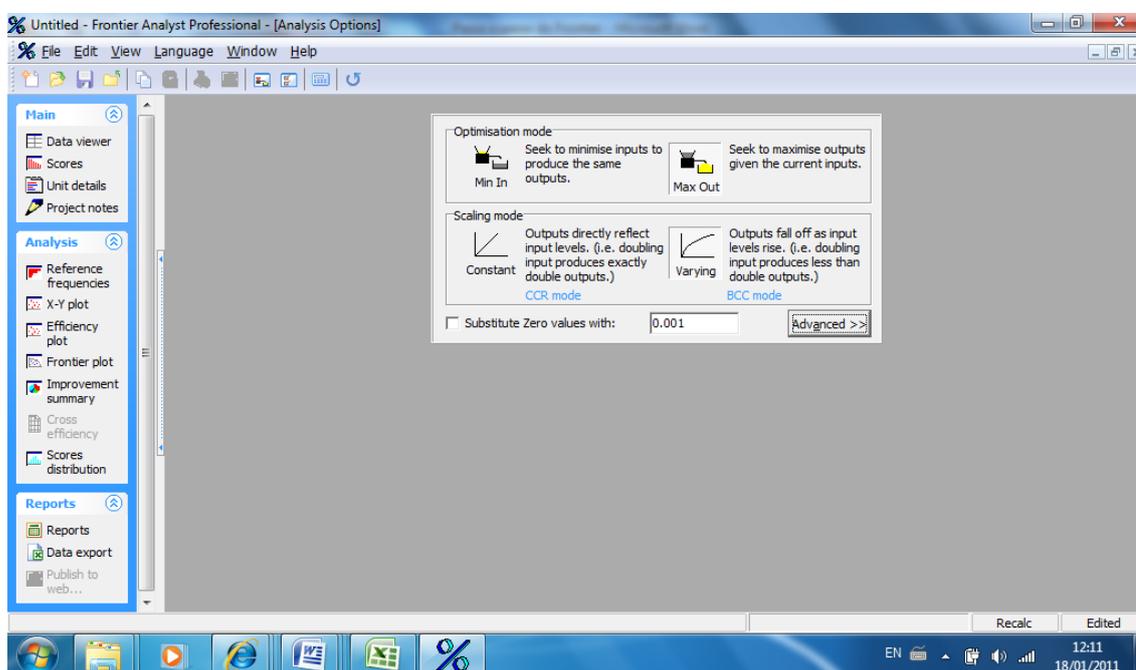


Figura C.5 – Tela “Analysis Options”

Após selecionar a orientação e o retorno de escala do modelo, deve-se acionar a tecla F5 do seu teclado para analisar os dados. Dessa forma, serão apresentados os *scores* de eficiência das unidades e os diversos gráficos de *Potential Improvements*, *Reference Comparison* e *Output/Input contributions*.

## RESULTADOS DO FRONTIER PARA AS CALDEIRAS REFERENCE COMPARISON

Gráfico C.1 - *Reference comparison:* Fabricante1/M3P-10/GN e Fabricante1/M3P-15/GN

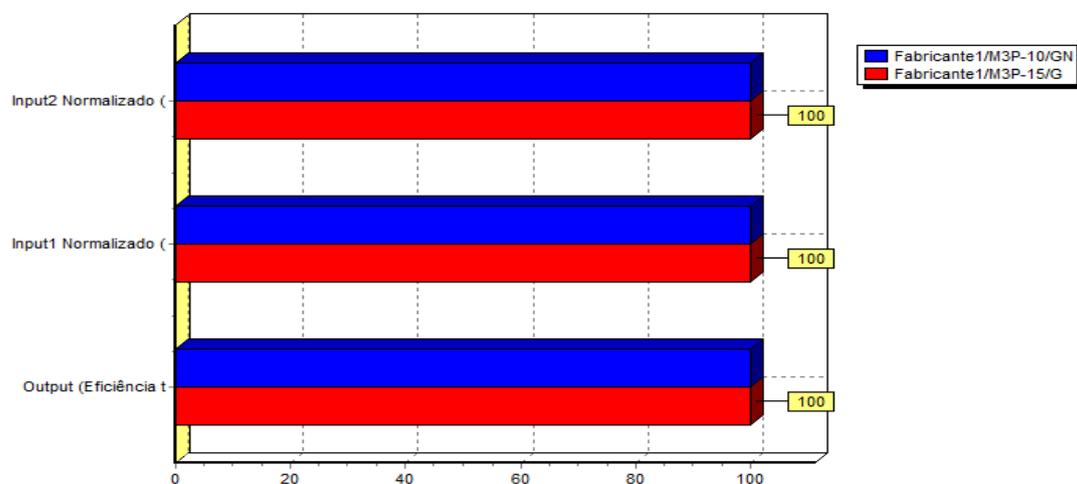


Gráfico C.2 - *Reference comparison:* Fabricante1/M3P-10/GN e Fabricante1/M3P-20/GLP

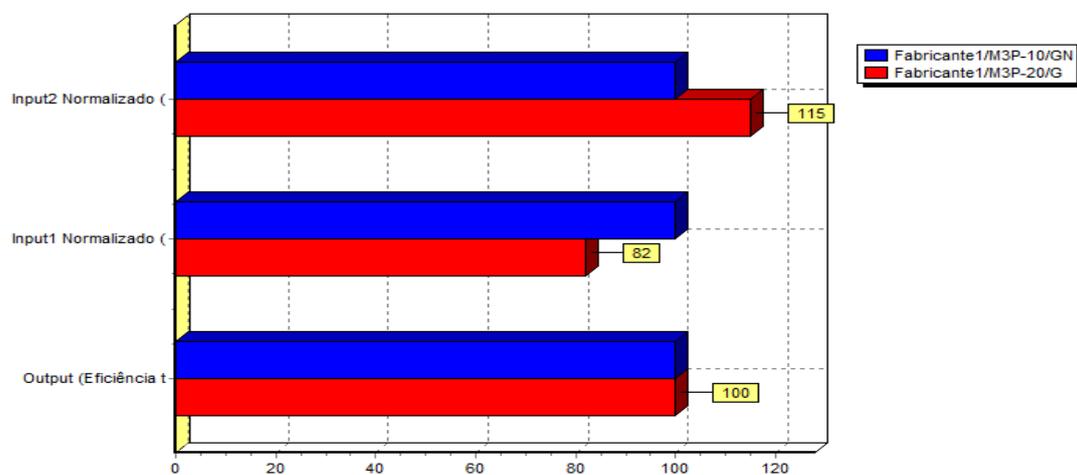


Gráfico C.3 - *Reference comparison*: Fabricante1/M3P-10/GLP e Fabricante1/M3P-20/GLP

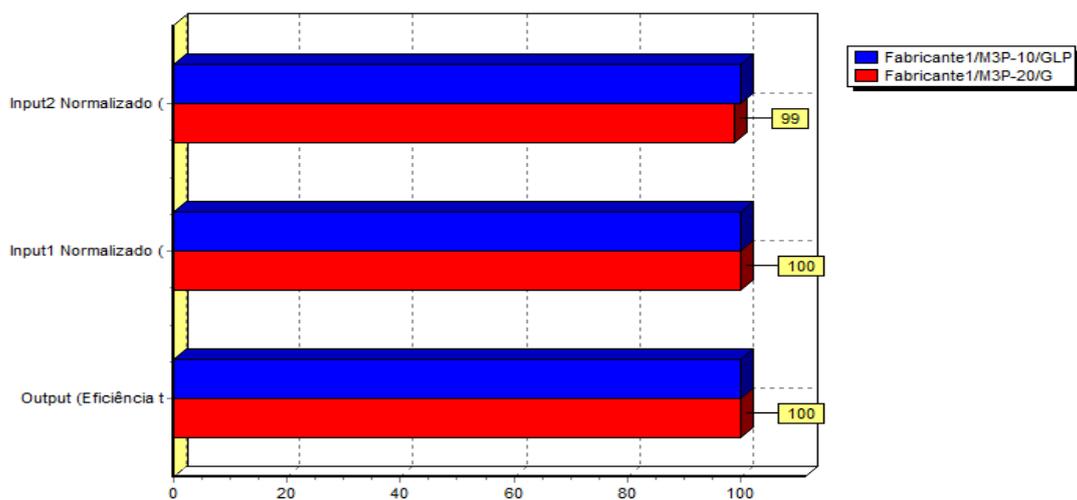


Gráfico C.4 - *Reference comparison*: Fabricante1/M3P-10/Oleo1A e Fabricante1/M3P-20/GLP

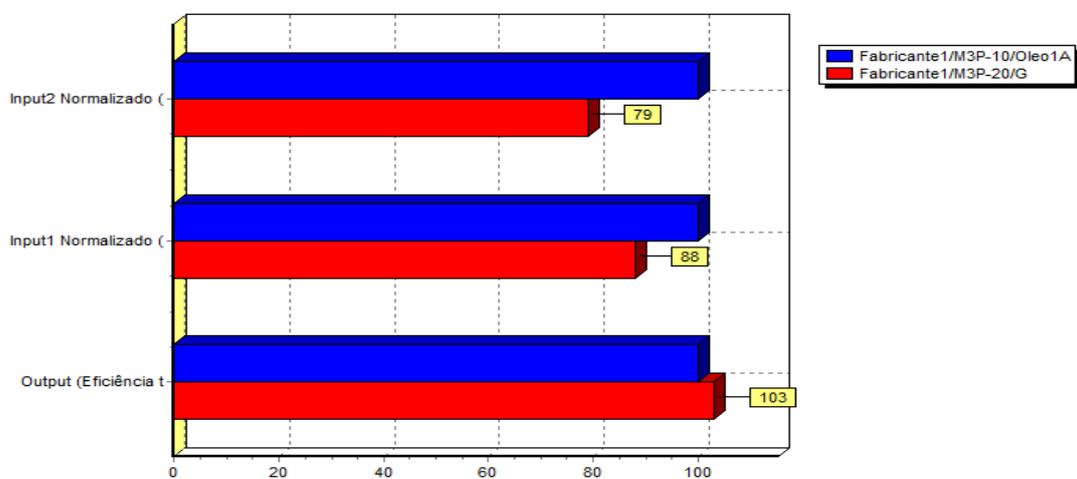


Gráfico C.5 - *Reference comparison*: Fabricante1/FAM10/Lenha e Fabricante1/M3P-20/GLP

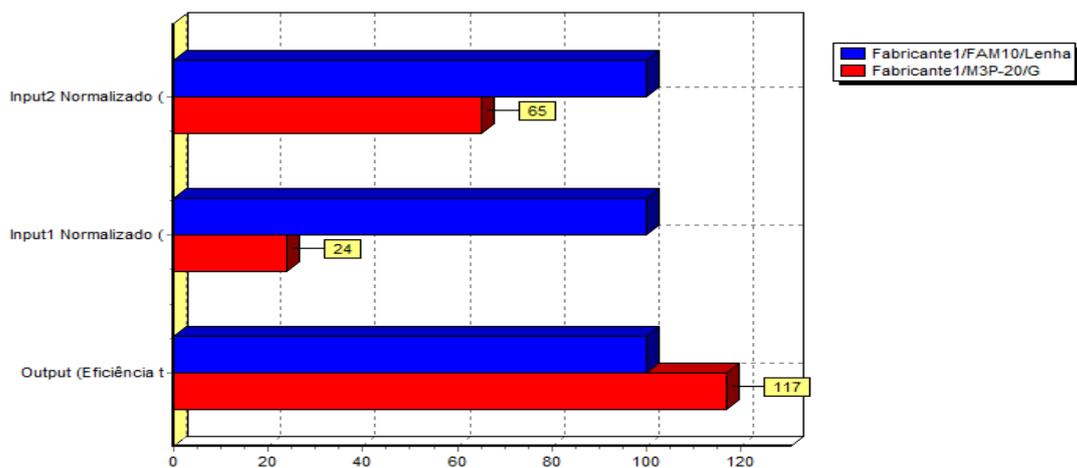


Gráfico C.6 - *Reference comparison:* Fabricante1/FAM10/CavacodePinus e Fabricante1/M3P-20/GLP

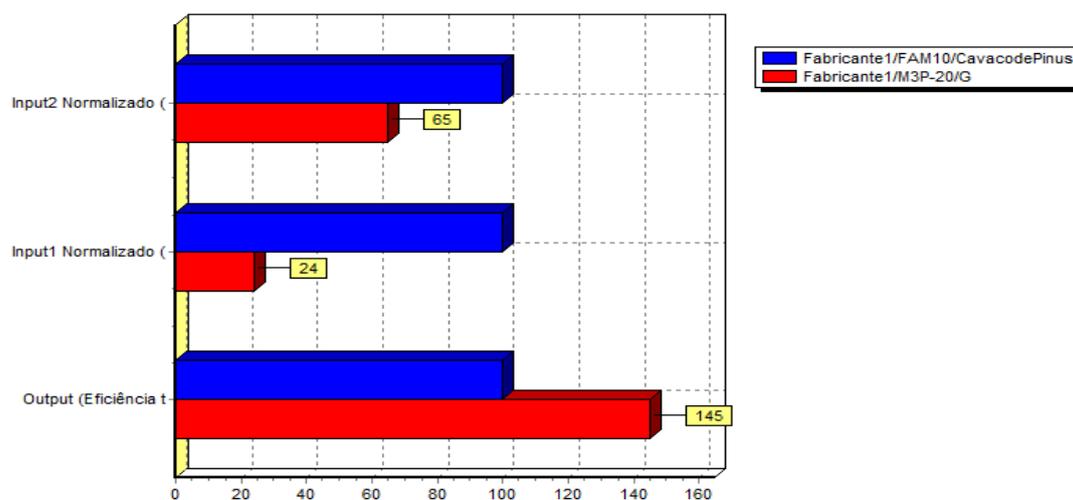


Gráfico C.7 - *Reference comparison:* Fabricante1/M3P-15/OleoDiesel e Fabricante1/M3P-20/GLP

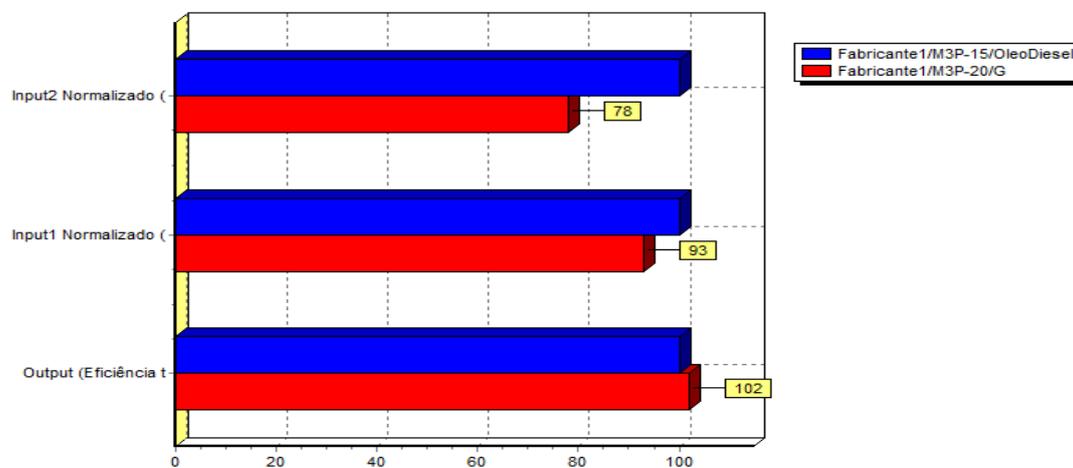


Gráfico C.8 - *Reference comparison:* Fabricante1/M3P-15/GLP e Fabricante1/M3P-20/GLP

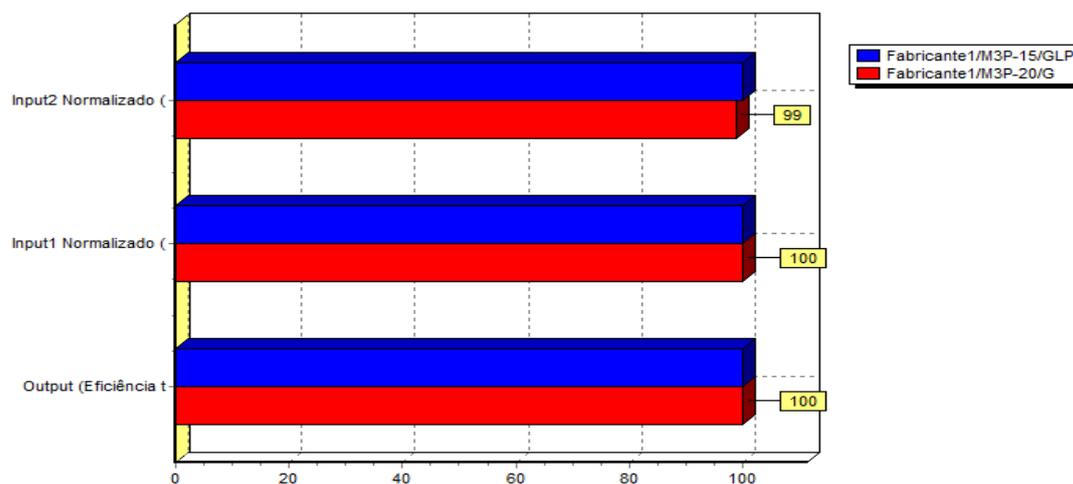


Gráfico C.9 - *Reference comparison*: Fabricante1/M3P-15/Oleo1A e Fabricante1/M3P-20/GLP

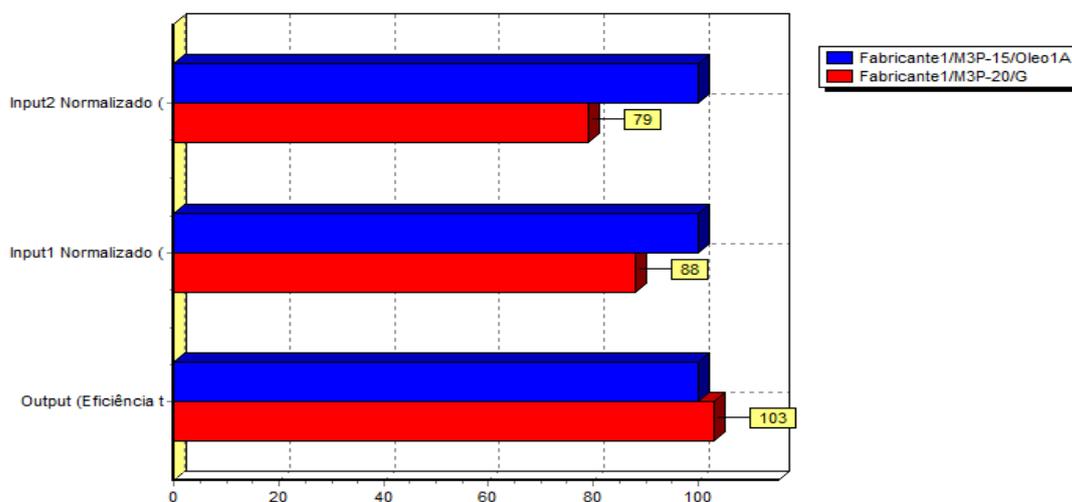


Gráfico C.10 - *Reference comparison*: Fabricante1/FAM15/Lenha e Fabricante1/M3P-20/GLP

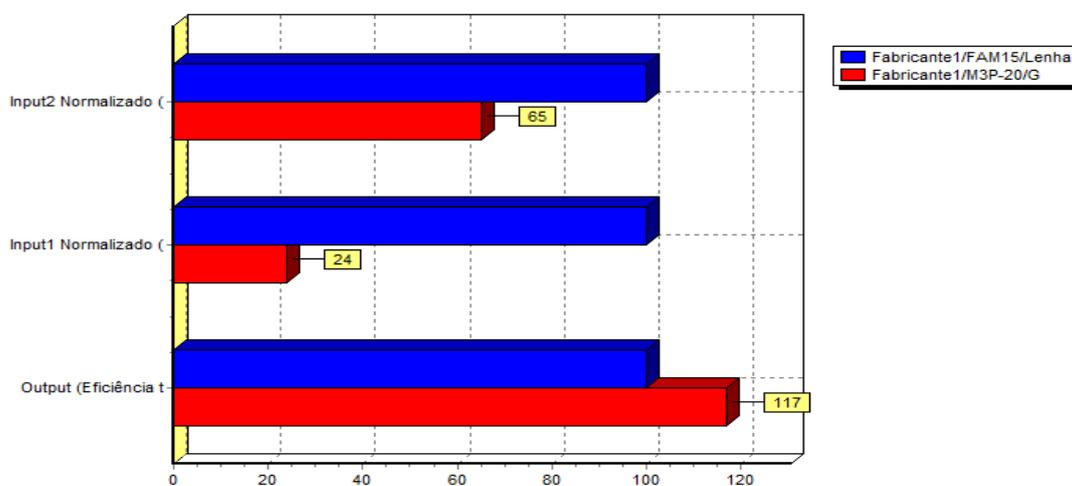


Gráfico C.11 - *Reference comparison*: Fabricante1/FAM15/CavacodePinus e Fabricante1/M3P-20/GLP

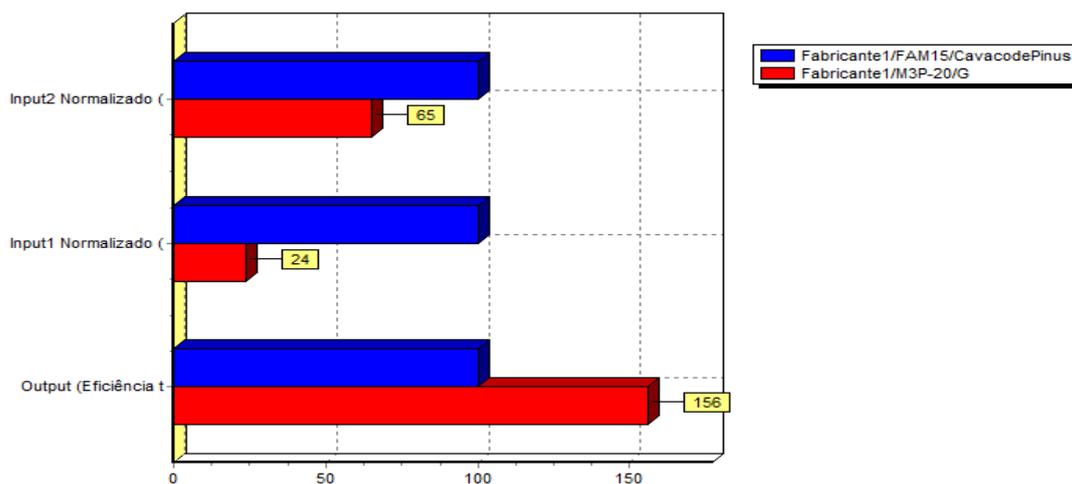


Gráfico C.12 - *Reference comparison:* Fabricante1/M3P-20/GN e Fabricante1/M3P-20/GLP

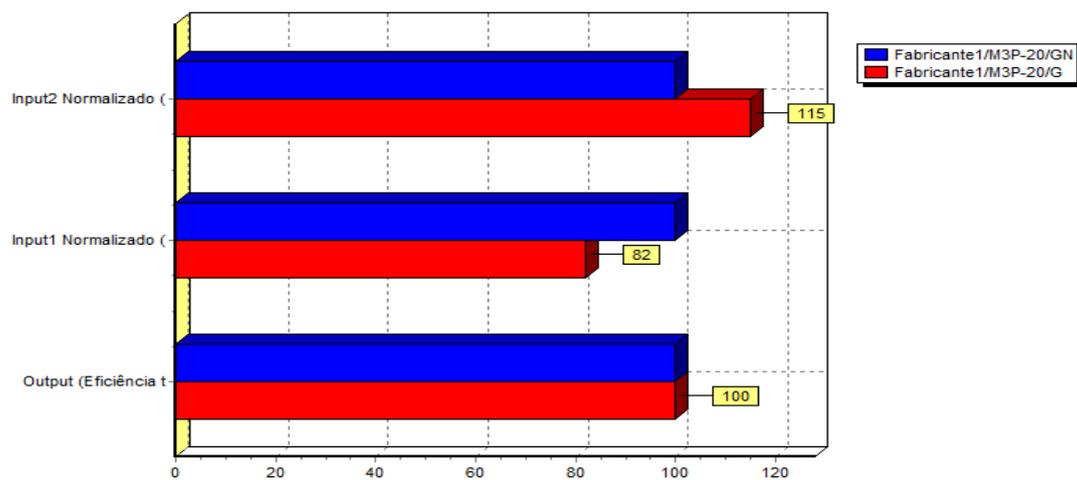


Gráfico C.13 - *Reference comparison:* Fabricante1/M3P-20/GN e Fabricante1/M3P-15/GN

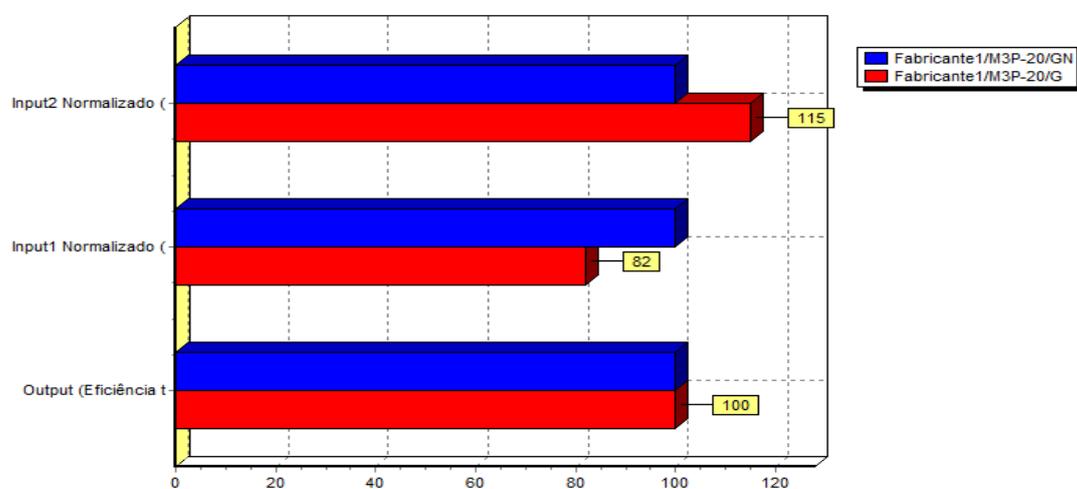


Gráfico C.14 - *Reference comparison:* Fabricante1/M3P-20/OleoDiesel e Fabricante1/M3P-20/GLP

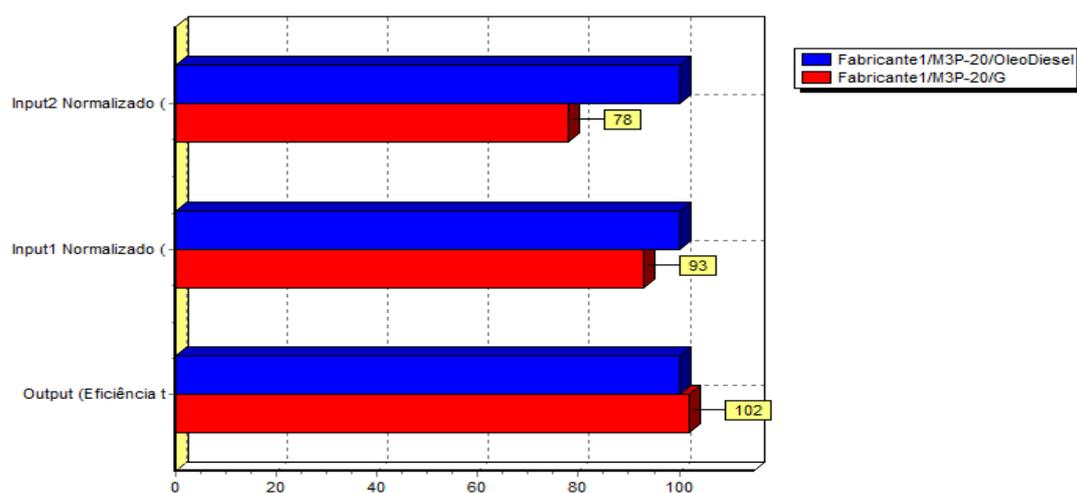


Gráfico C.15 - *Reference comparison:* Fabricante1/M3P-20/Oleo1A e Fabricante1/M3P-20/GLP

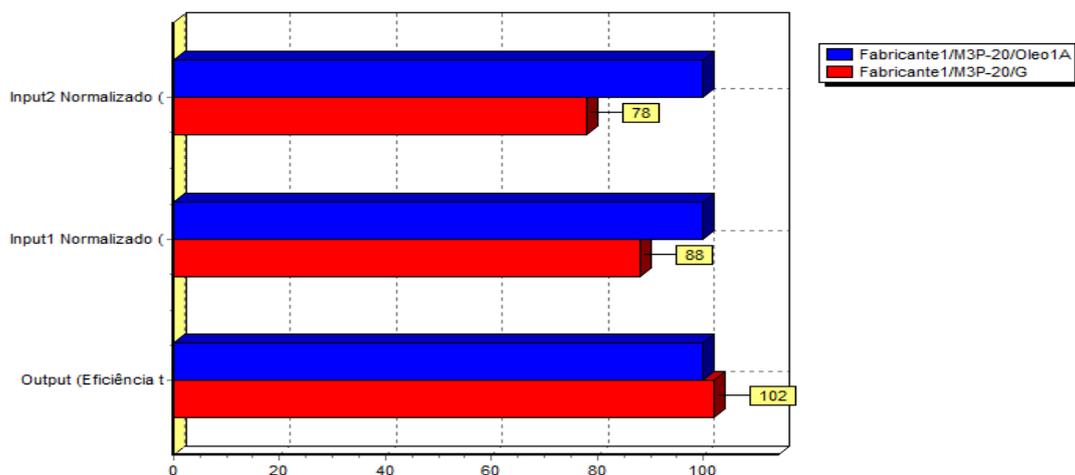


Gráfico C.16 - *Reference comparison:* Fabricante1/FAM20/Lenha e Fabricante1/M3P-20/GLP

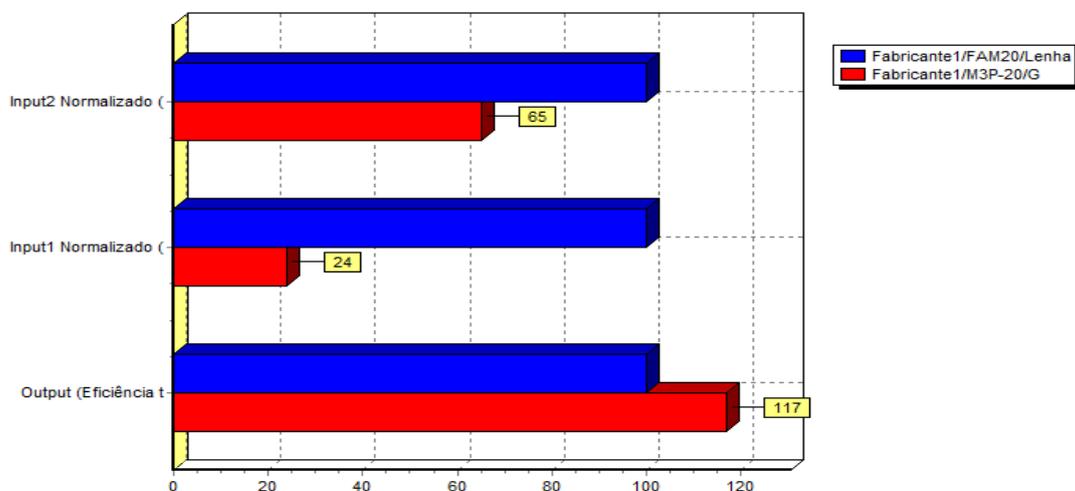


Gráfico C.17 - *Reference comparison:* Fabricante1/FAM20/CavacodePinus e Fabricante1/M3P-20/GLP

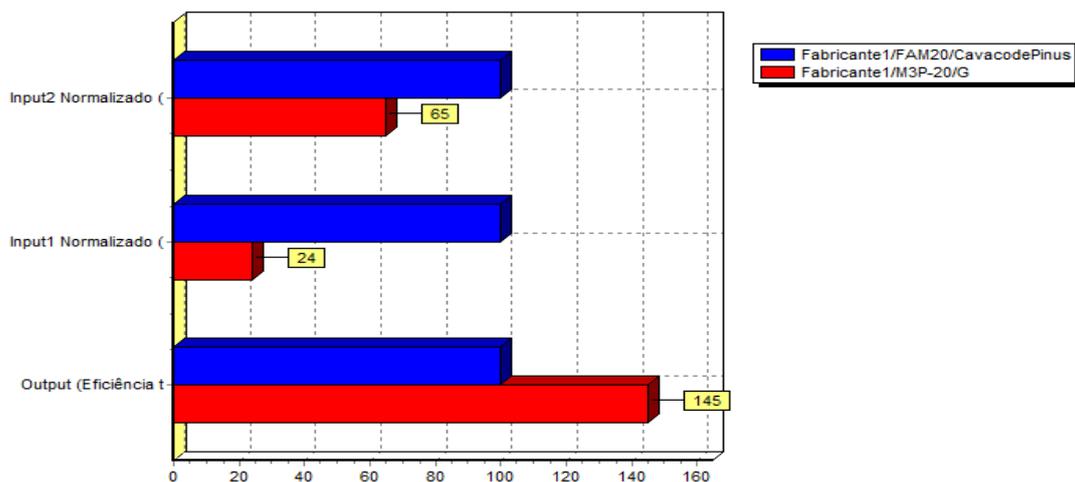


Gráfico C.18 - *Reference comparison*: Fabricante1/CGV-30/OleoDiesel e Fabricante1/M3P-20/GLP

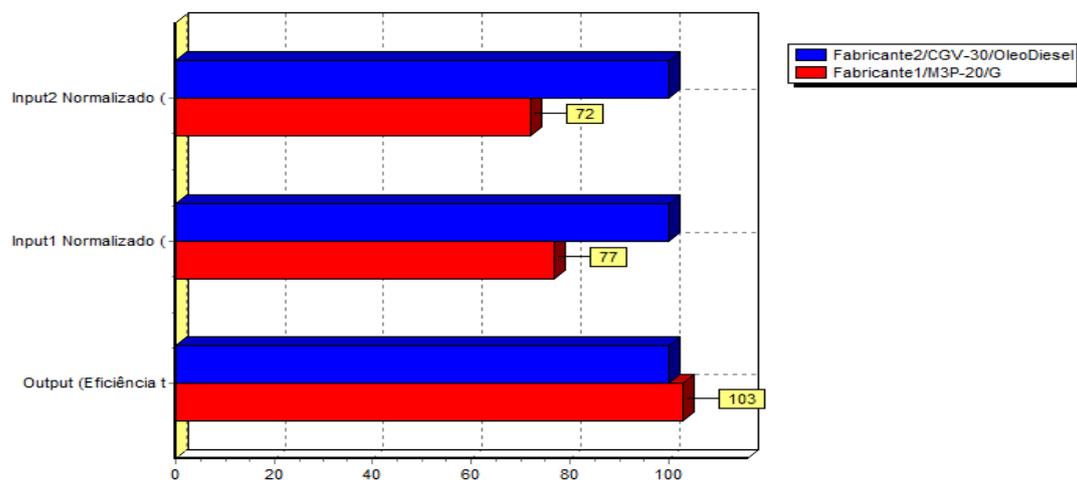


Gráfico C.19 - *Reference comparison*: Fabricante1/CGV-30/GLP e Fabricante1/M3P-20/GLP

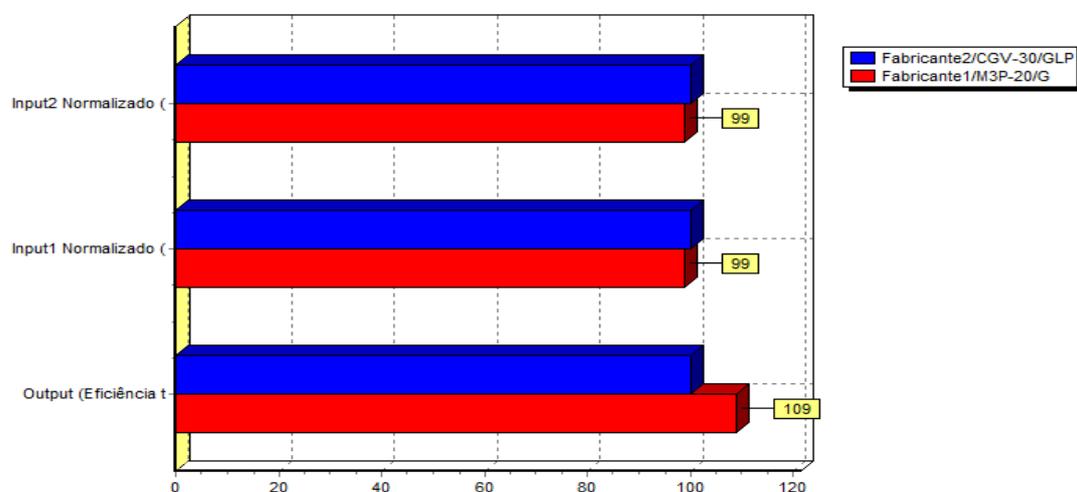


Gráfico C.20 - *Reference comparison*: Fabricante2/CGV-30/Lenha e Fabricante1/M3P-20/GLP

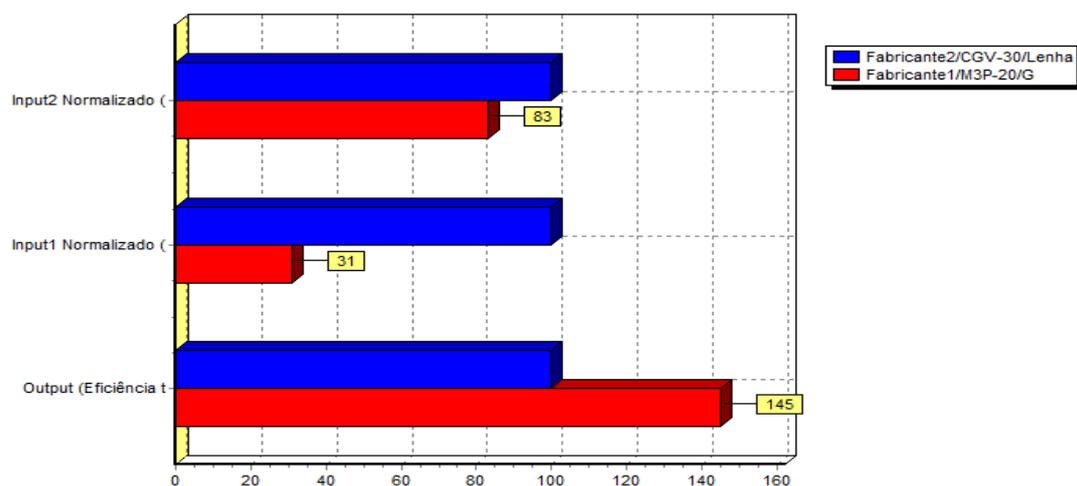


Gráfico C.21 - *Reference comparison:* Fabricante2/CGV-30/CarvãoVegetal e Fabricante1/M3P-20/GLP

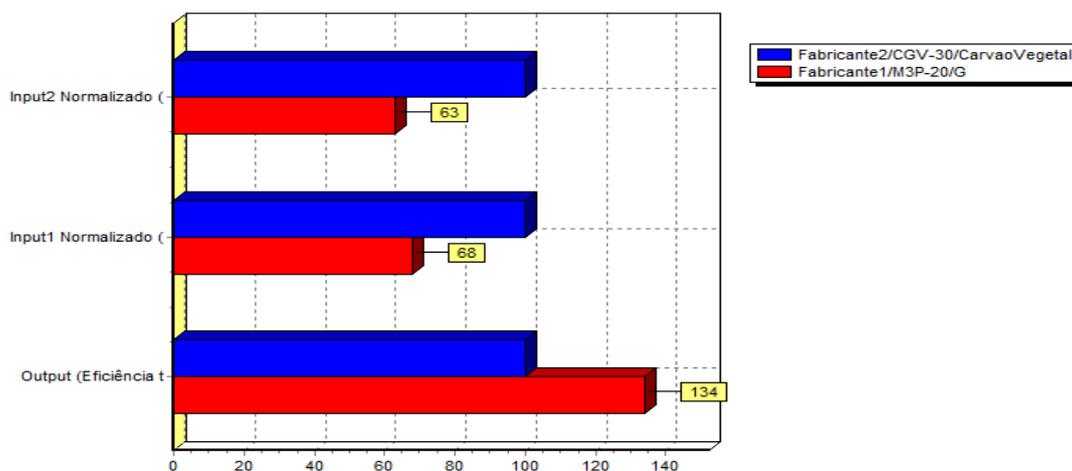


Gráfico C.22 - *Reference comparison:* Fabricante2/CGV-150/GN e Fabricante1/M3P-20/GLP

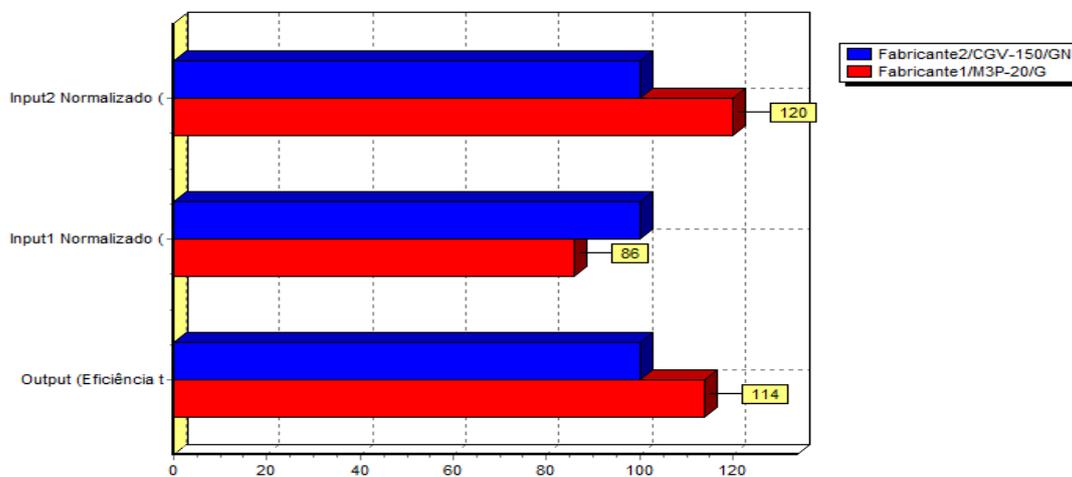


Gráfico C.23 - *Reference comparison:* Fabricante2/CGV-150/GN e Fabricante2/CGV-30/GN

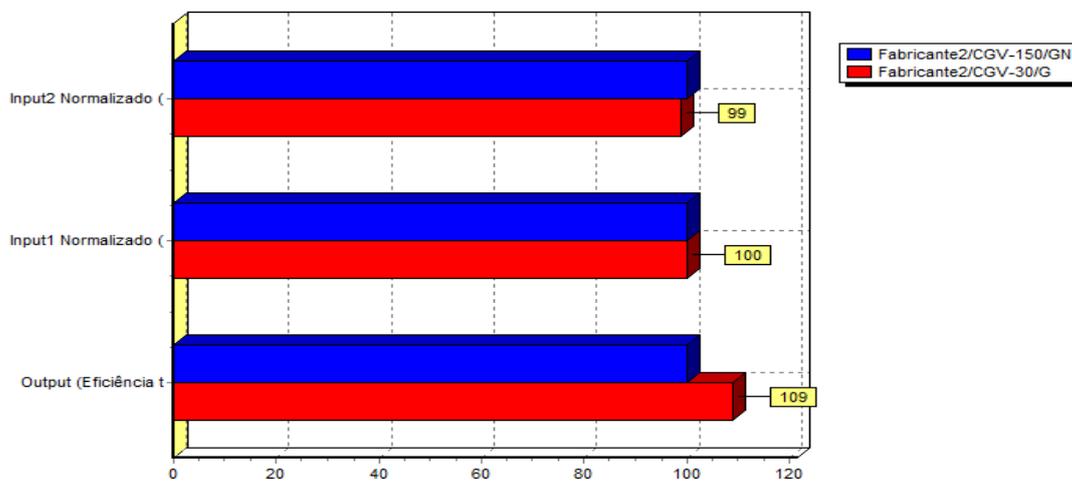


Gráfico C.24 - *Reference comparison:* Fabricante2/CGV-150/GN e Fabricante3/VSH-5000/GN

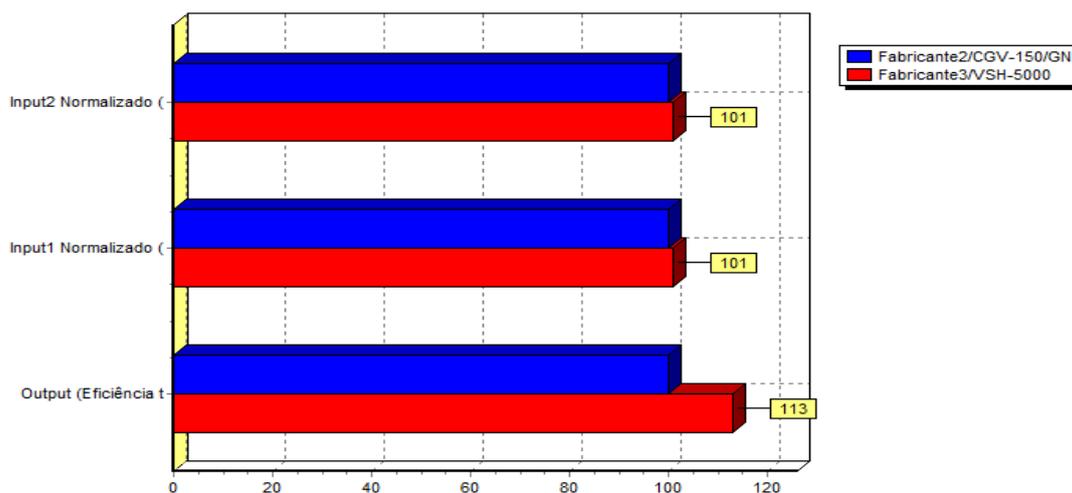


Gráfico C.25 - *Reference comparison:* Fabricante2/CGV-150/OleoDiesel e Fabricante3/M3P-20/GLP

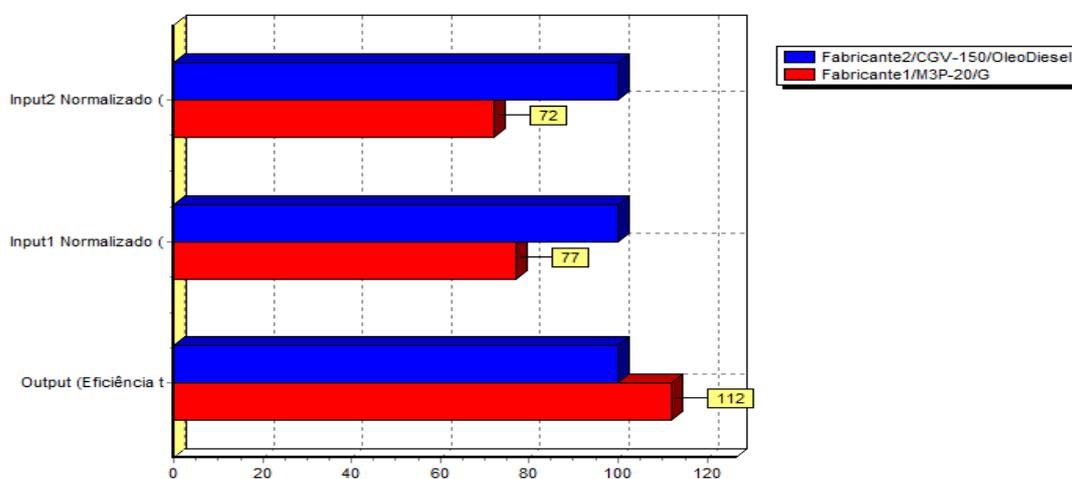


Gráfico C.26 - *Reference comparison:* Fabricante2/CGV-150/GLP e Fabricante1/M3P-20/GLP

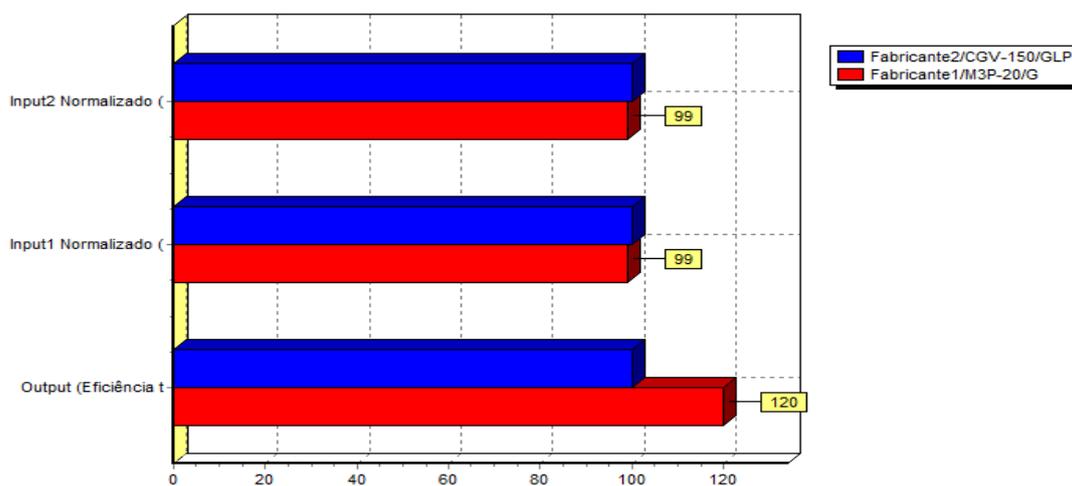


Gráfico C.27 - *Reference comparison:* Fabricante2/CGV-150/Lenha e Fabricante1/M3P-20/GLP

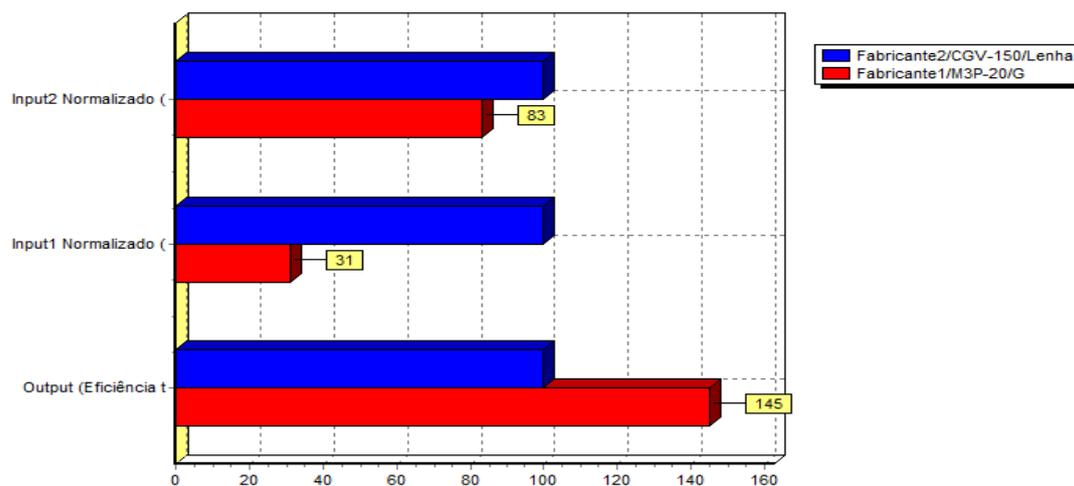


Gráfico C.28 - *Reference comparison:* Fabricante2/CGV-150/CarvãoVegetal e Fabricante1/M3P-20/GLP

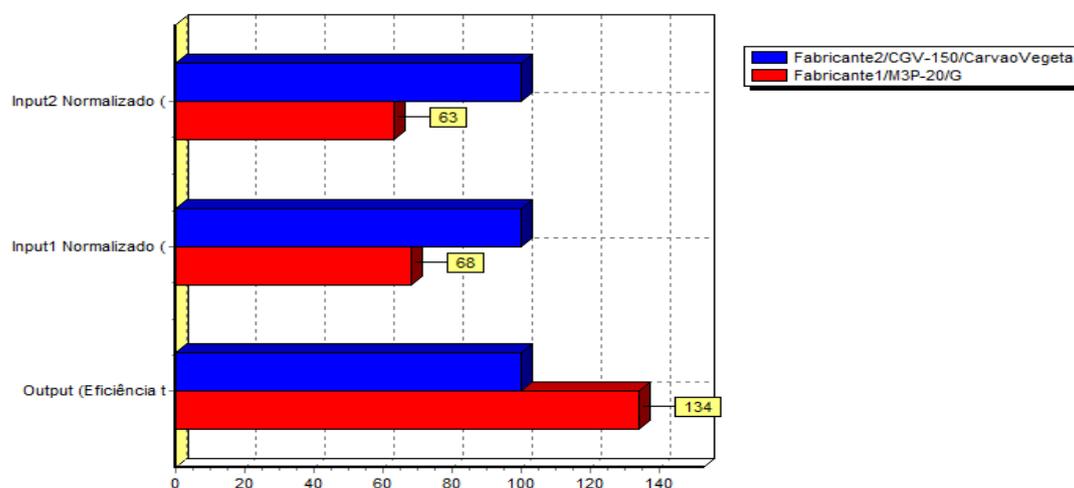


Gráfico C.29 - *Reference comparison:* Fabricante2/CGV-400/GN e Fabricante1/M3P-20/GLP

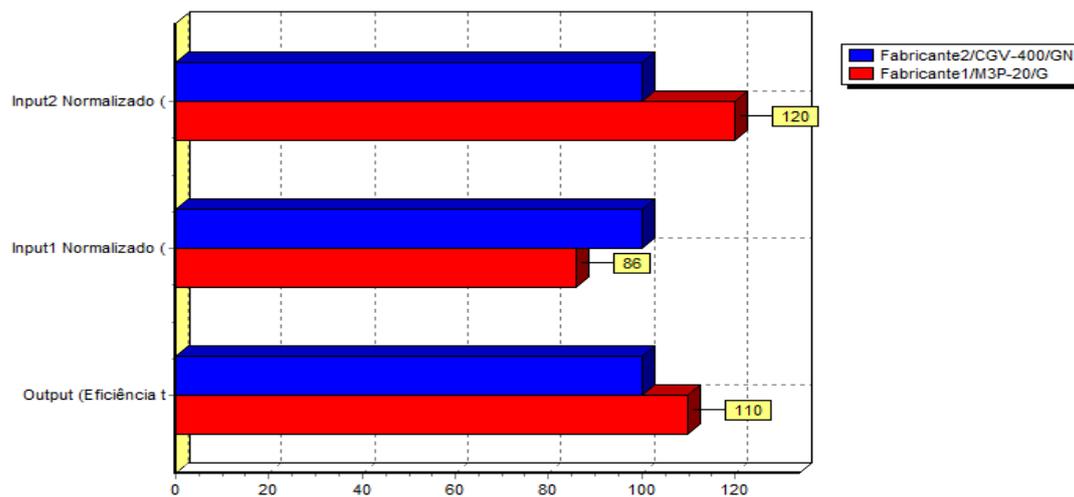


Gráfico C.30 - *Reference comparison:* Fabricante2/CGV-400/GN e Fabricante2/CGV-30/GN

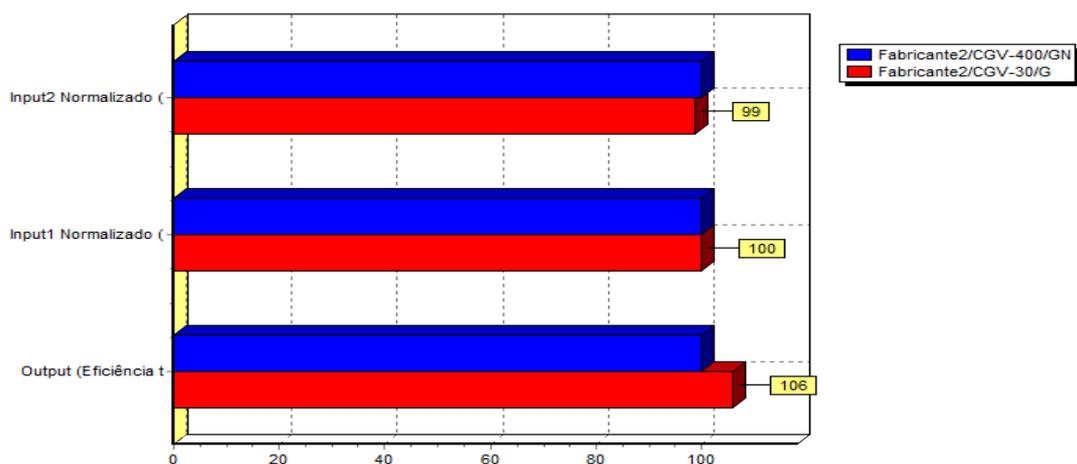


Gráfico C.31 - *Reference comparison:* Fabricante2/CGV-400/GN e Fabricante3/VSH-5000/GN

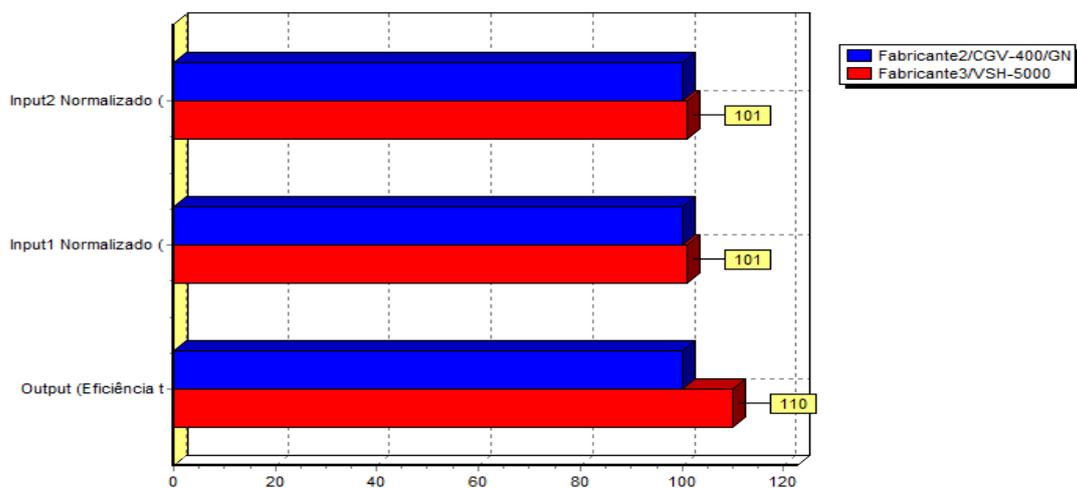


Gráfico C.32 - *Reference comparison:* Fabricante2/CGV-400/OleoDiesel e Fabricante1/M3P-20/GLP

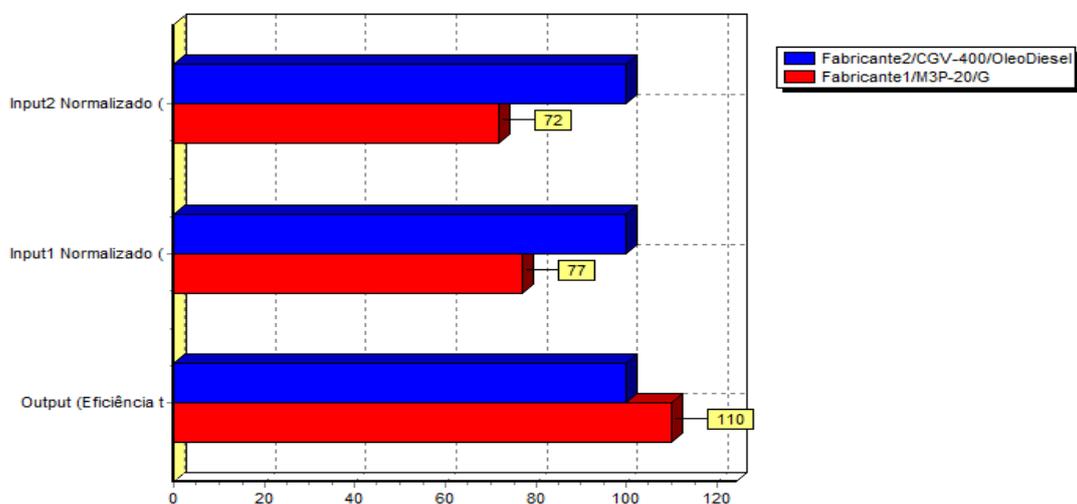


Gráfico C.33 - *Reference comparison:* Fabricante2/CGV-400/GLP e Fabricante1/M3P-20/GLP

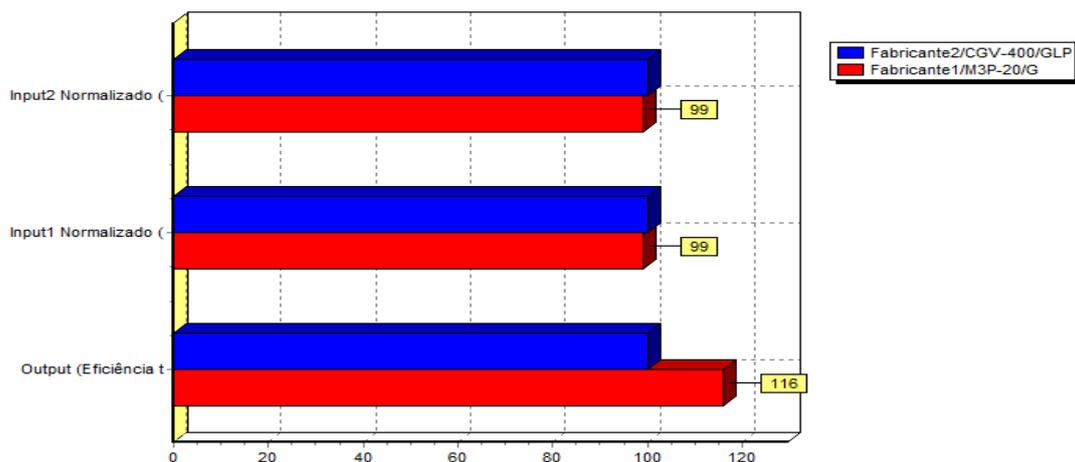


Gráfico C.34 - *Reference comparison:* Fabricante2/CGV-400/Lenha e Fabricante1/M3P-20/GLP

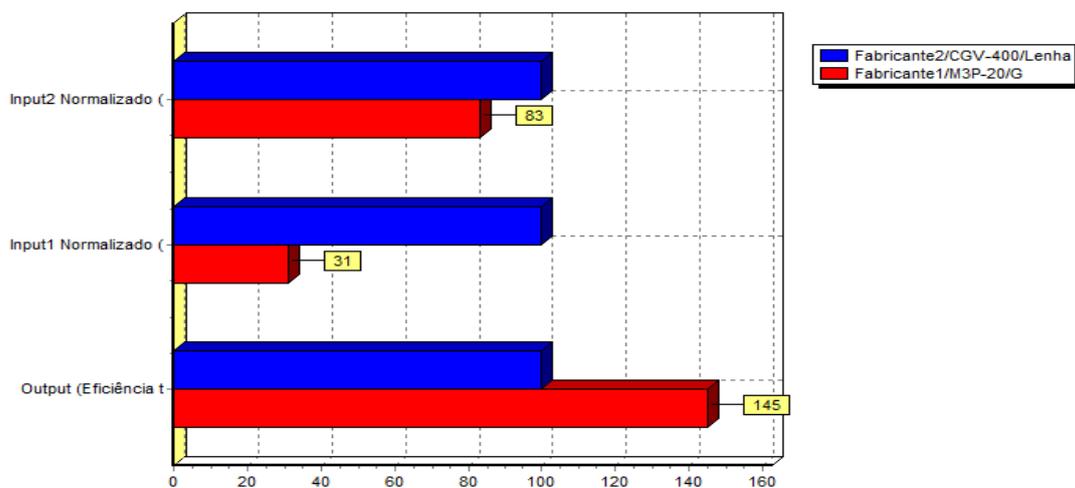


Gráfico C.35 - *Reference comparison:* Fabricante2/CGV-400/Carvãovegetal e Fabricante1/M3P-20/GLP

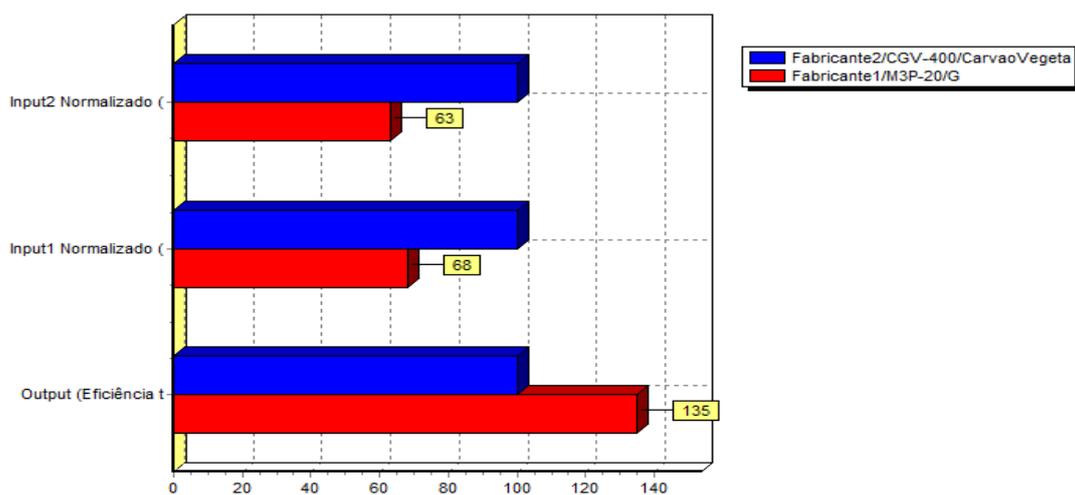


Gráfico C.36 - *Reference comparison:* Fabricante3/VSH-780/GN e Fabricante1/M3P-15/GN

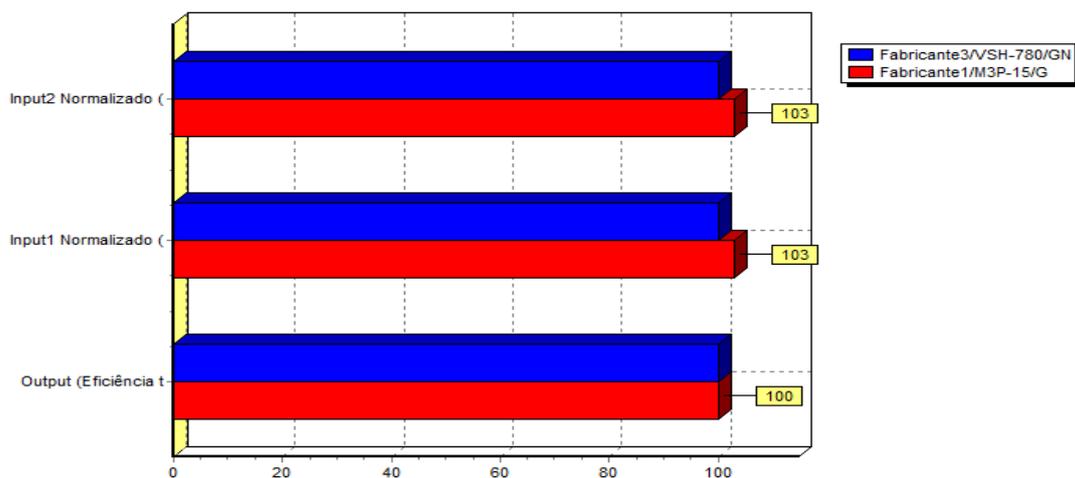


Gráfico C.37 - *Reference comparison:* Fabricante3/VSH-780/GN e Fabricante1/M3P-20/GLP

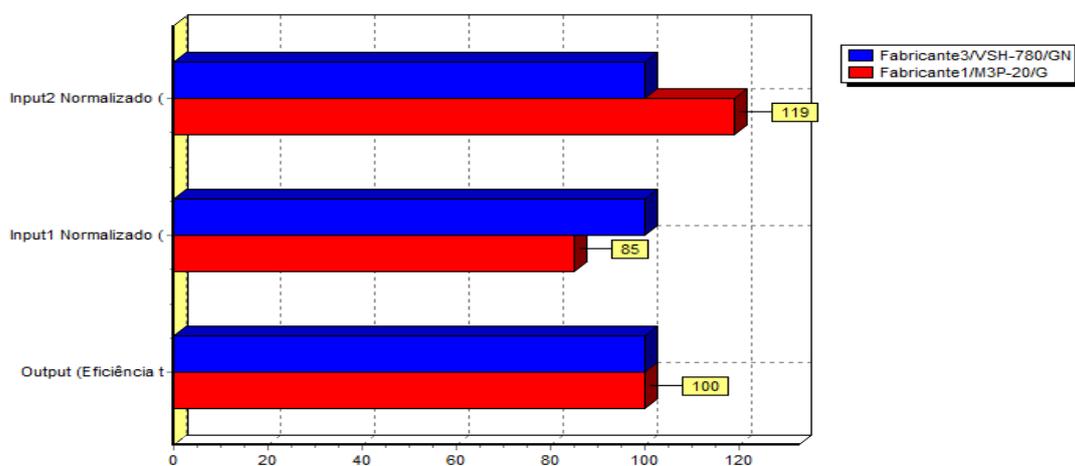


Gráfico C.38 - *Reference comparison:* Fabricante3/VSH-780/GN e Fabricante3/VSH-5000/GN

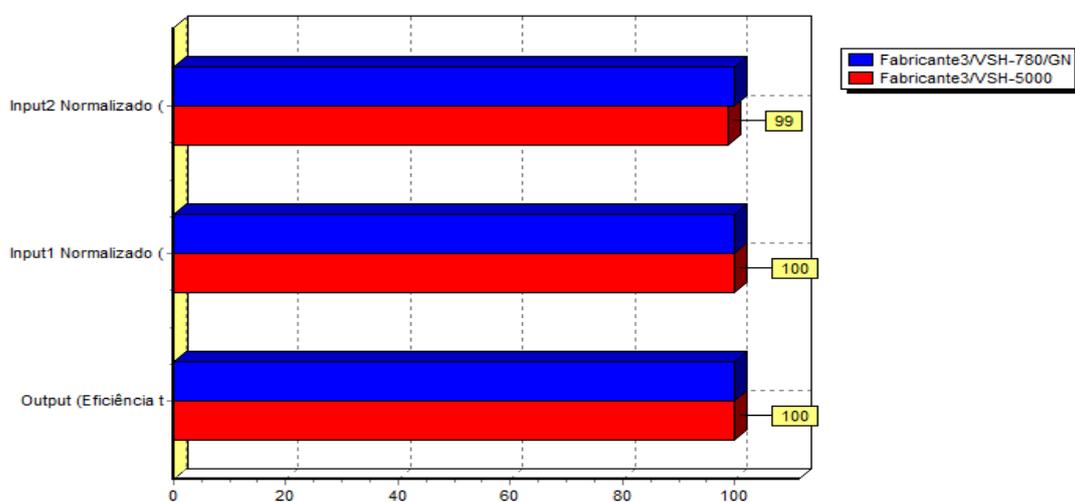


Gráfico C.39 - *Reference comparison: Fabricante3/VSH-780/OleoDiesel e Fabricante1/M3P-20/GLP*

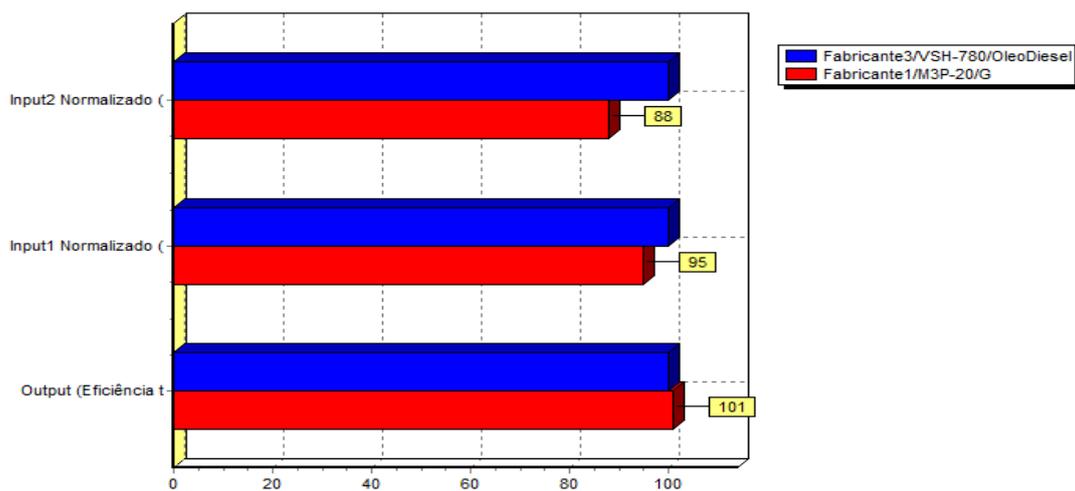


Gráfico C.40 - *Reference comparison: Fabricante3/VSH-780/GLP e Fabricante1/M3P-20/GLP*

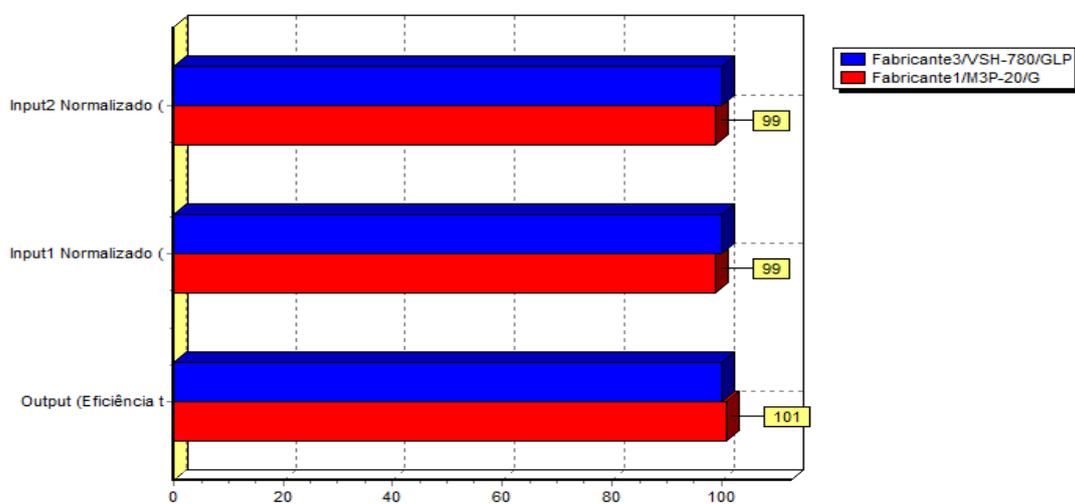


Gráfico C.41 - *Reference comparison: Fabricante3/VSH-780/Óleo1A e Fabricante1/M3P-20/GLP*

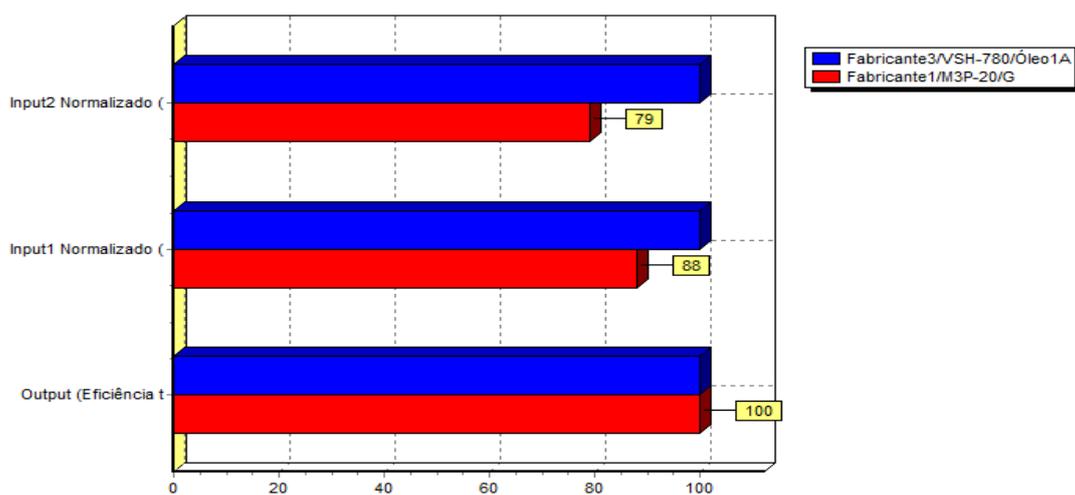


Gráfico C.42 - *Reference comparison*: Fabricante3/VSH-3000/GN e Fabricante2/CGV-30/GN

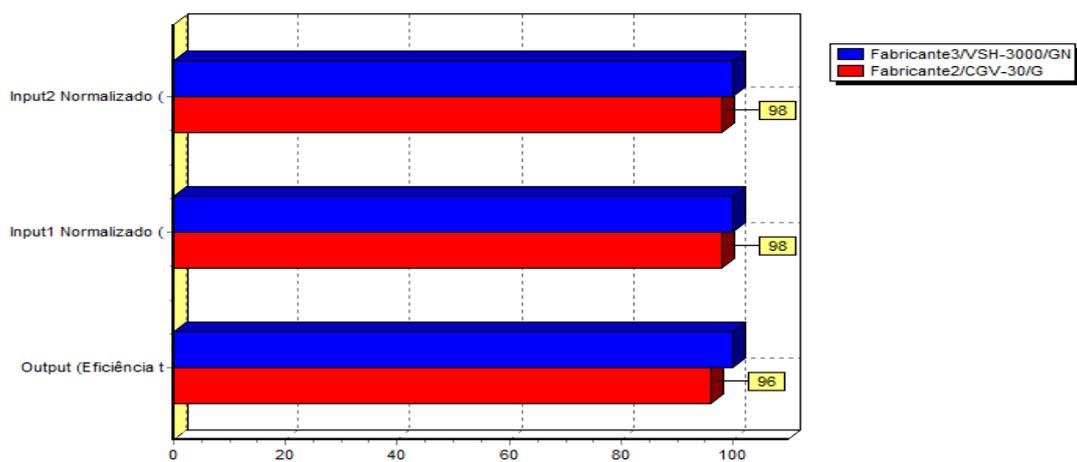


Gráfico C.43 - *Reference comparison*: Fabricante3/VSH-3000/GN e Fabricante3/VSH-5000/GN

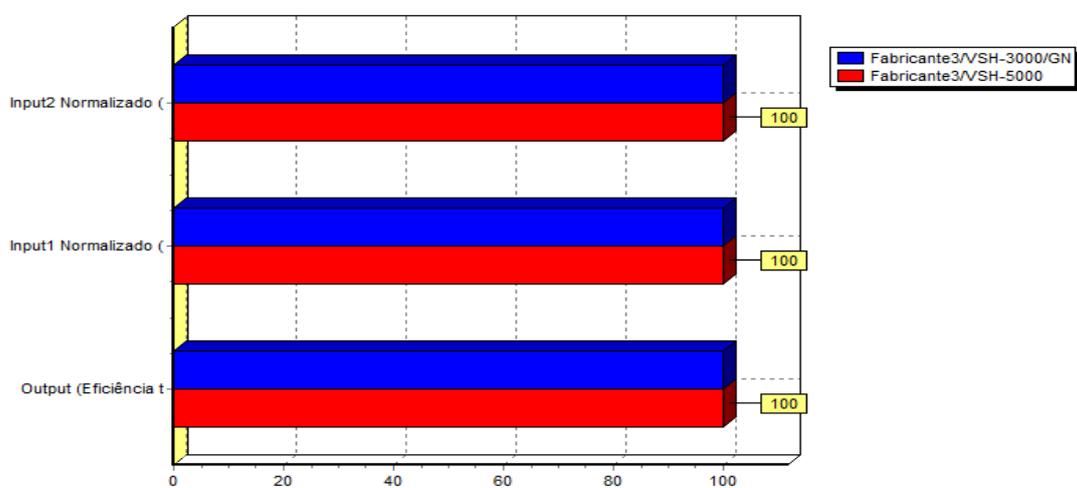


Gráfico C.44- *Reference comparison*: Fabricante3/VSH-3000/OleoDiesel e Fabricante1/M3P-20/GLP

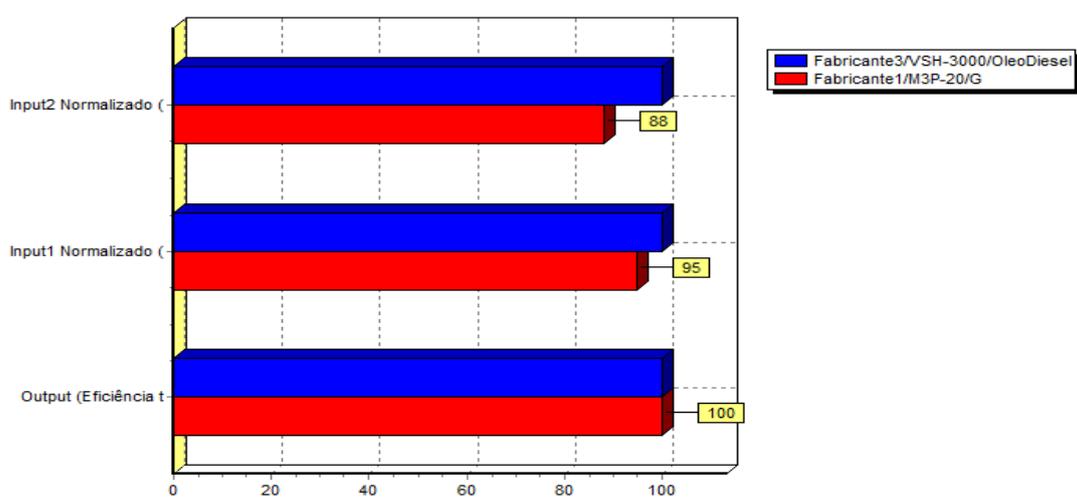


Gráfico C.45 - *Reference comparison:* Fabricante3/VSH-3000/GLP e Fabricante1/M3P-20/GLP

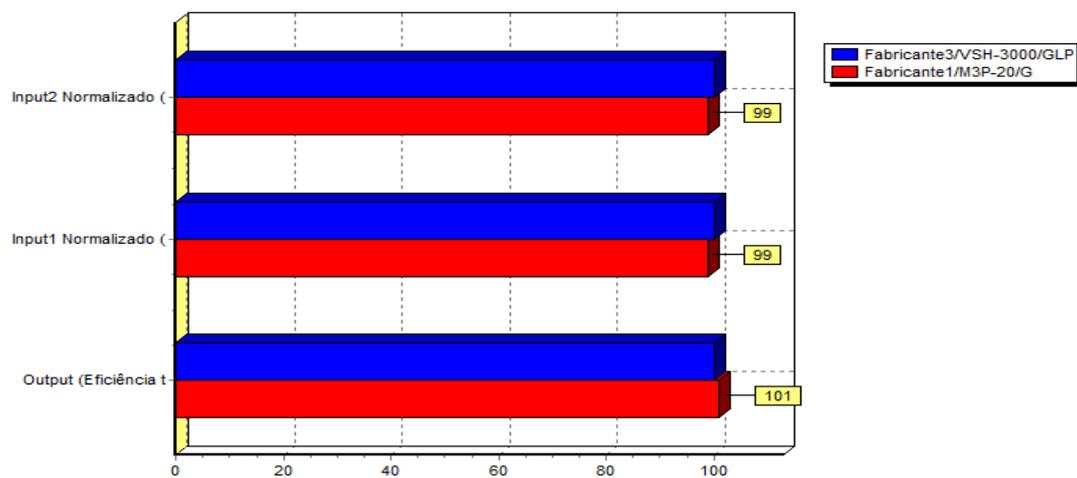


Gráfico C.46 - *Reference comparison:* Fabricante3/VSH-3000/Oleo1A e Fabricante1/M3P-20/GLP

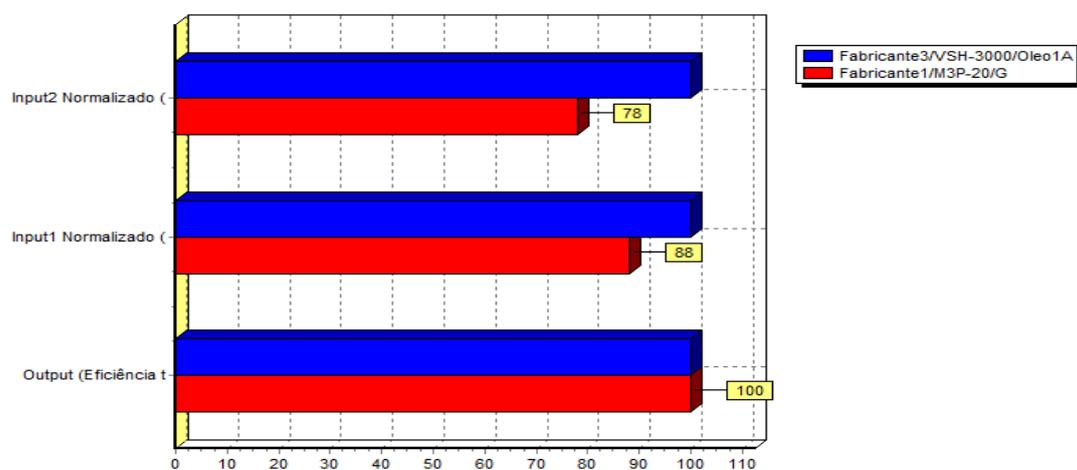


Gráfico C.47- *Reference comparison:* Fabricante3/VSH-5000/OleoDiesel e Fabricante1/M3P-20/GLP

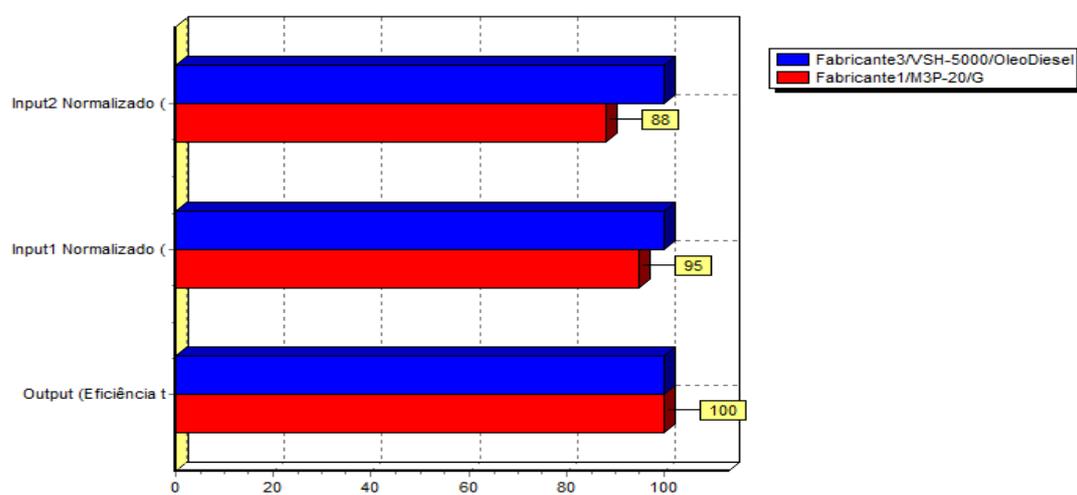


Gráfico C.48 - *Reference comparison*: Fabricante3/VSH-5000/GLP e Fabricante1/M3P-20/GLP

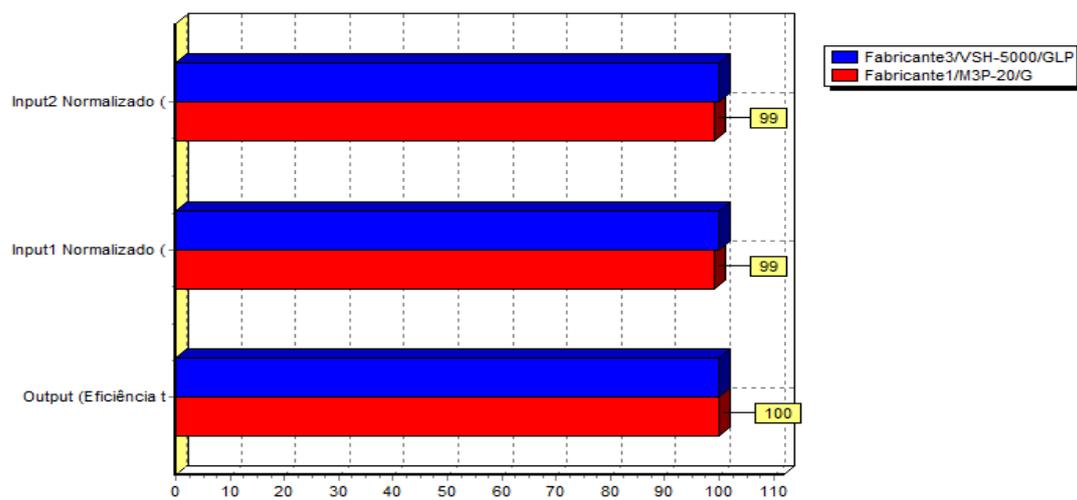
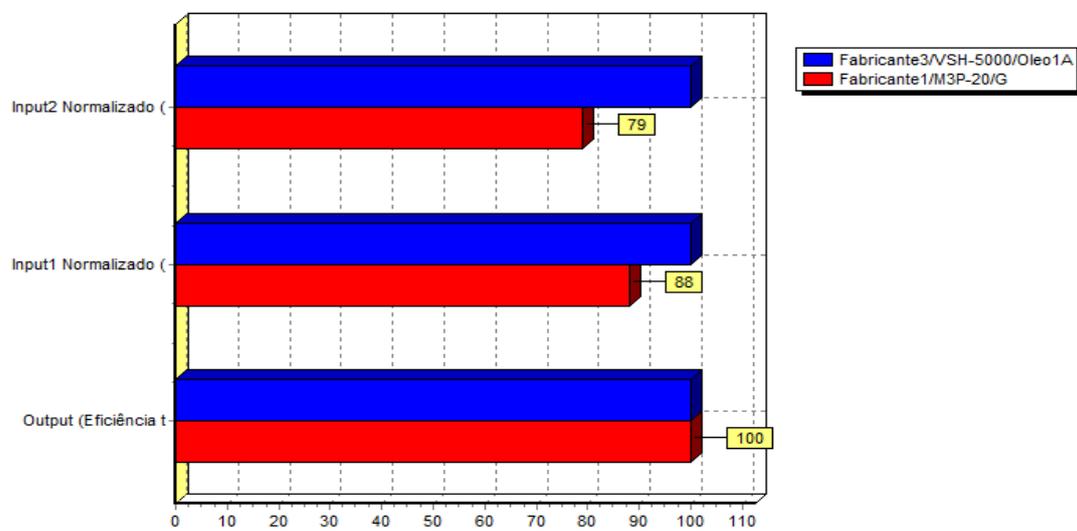


Gráfico C.49 - *Reference comparison*: Fabricante3/VSH-5000/Oleo1A e Fabricante1/M3P-20/GLP



## RESULTADOS DO FRONTIER PARA OS AQUECEDORES REFERENCE COMPARISON

Gráfico C.50 - *Reference comparison*: Fabricante1/ETD-1500/Carvão vegetal e Fabricante1/ETD-1000/Carvão vegetal

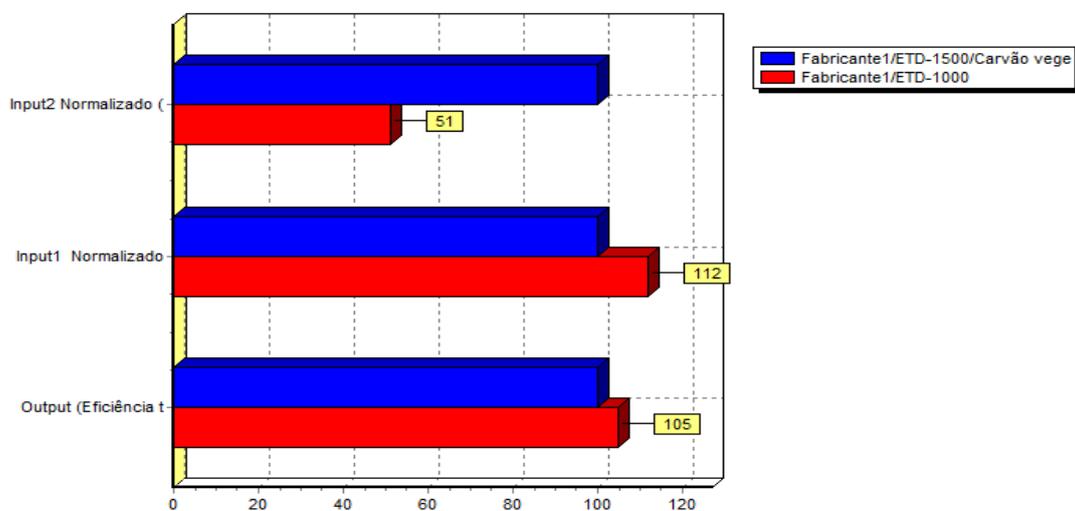


Gráfico C.51 - *Reference comparison*: Fabricante1/ETD-1500/Carvão vegetal e Fabricante1/ETD-1000/Lenha

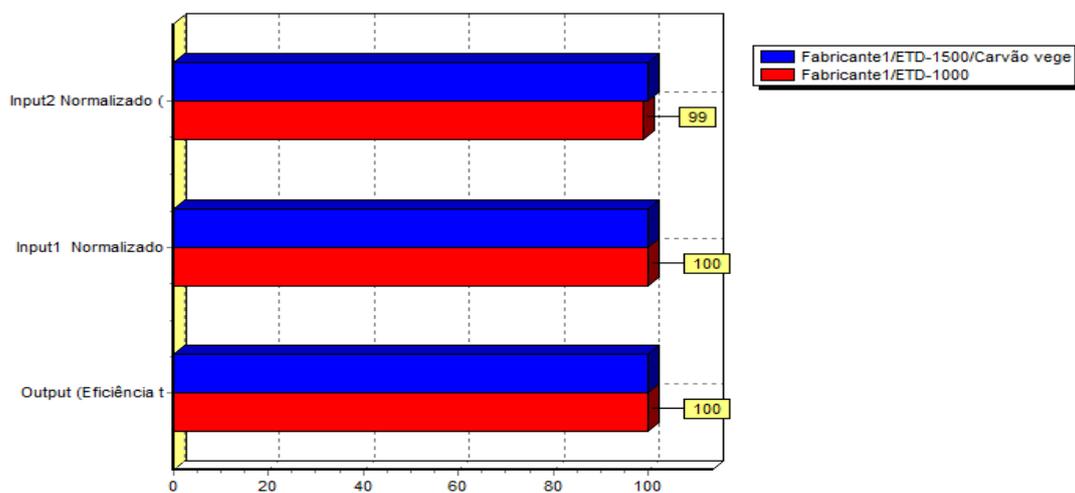


Gráfico C.52 - *Reference comparison:* Fabricante1/ETD-1500/Óleo Diesel e Fabricante2/BMH-2000/Lenha

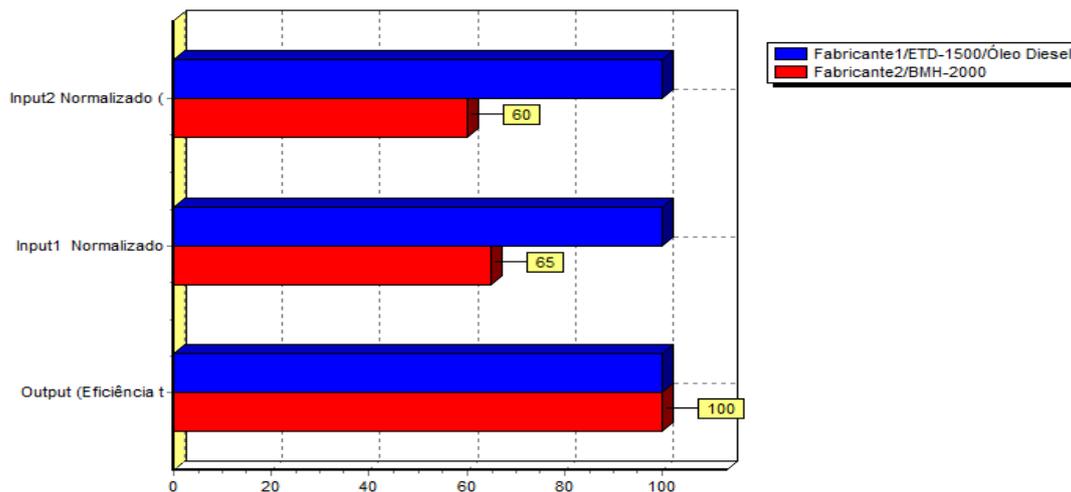


Gráfico C.53 - *Reference comparison:* Fabricante1/ETD-2000/Óleo Diesel e Fabricante2/BMH-2000/GN

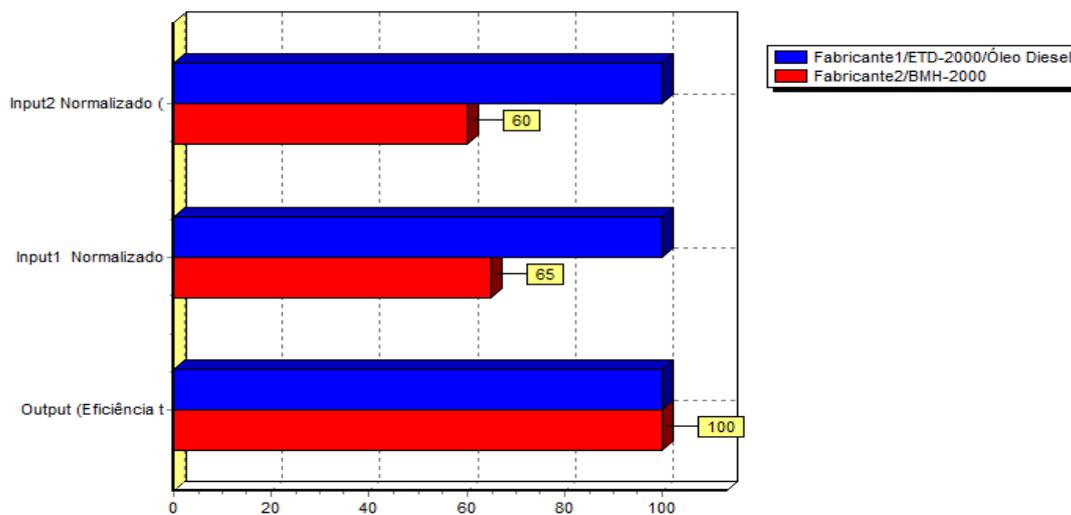


Gráfico C.54 - *Reference comparison:* Fabricante1/ETD-2000/GN e Fabricante1/ETD-1500/GN

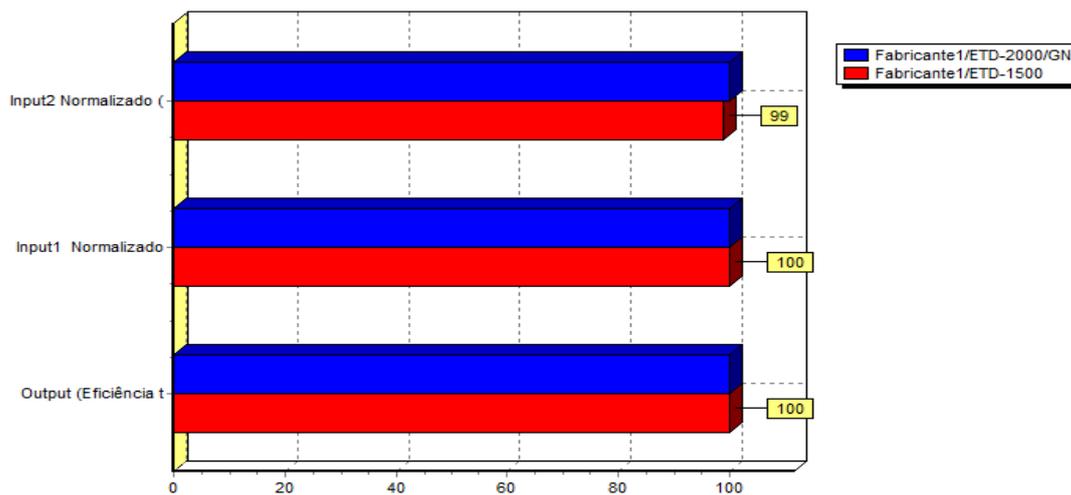


Gráfico C.55 - *Reference comparison:* Fabricante2/BMH-1000/Óleo Diesel e Fabricante2/BMH-2000/GN

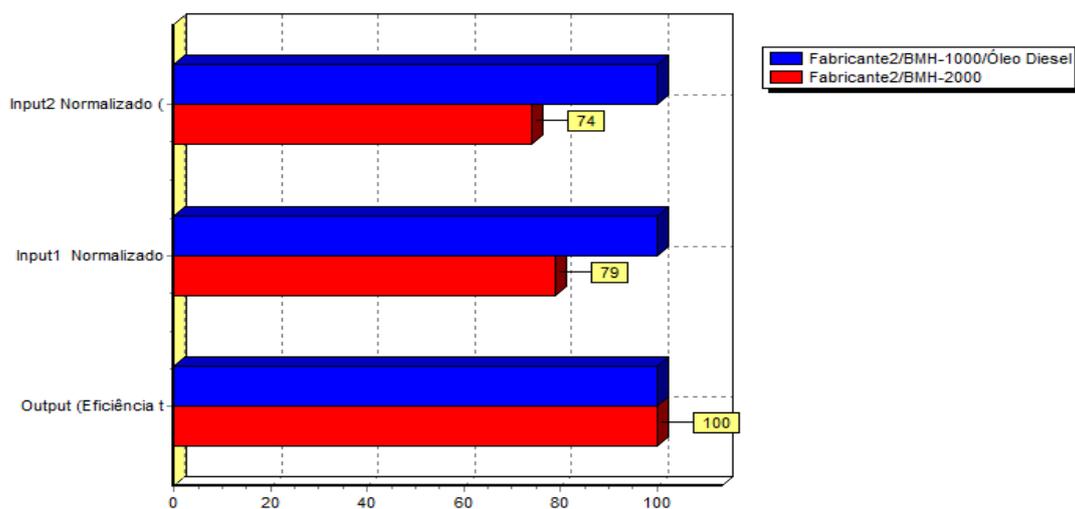


Gráfico C.56 - *Reference comparison:* Fabricante2/BMH-1500/Oleo Diesel e Fabricante2/BMH-1000/GN

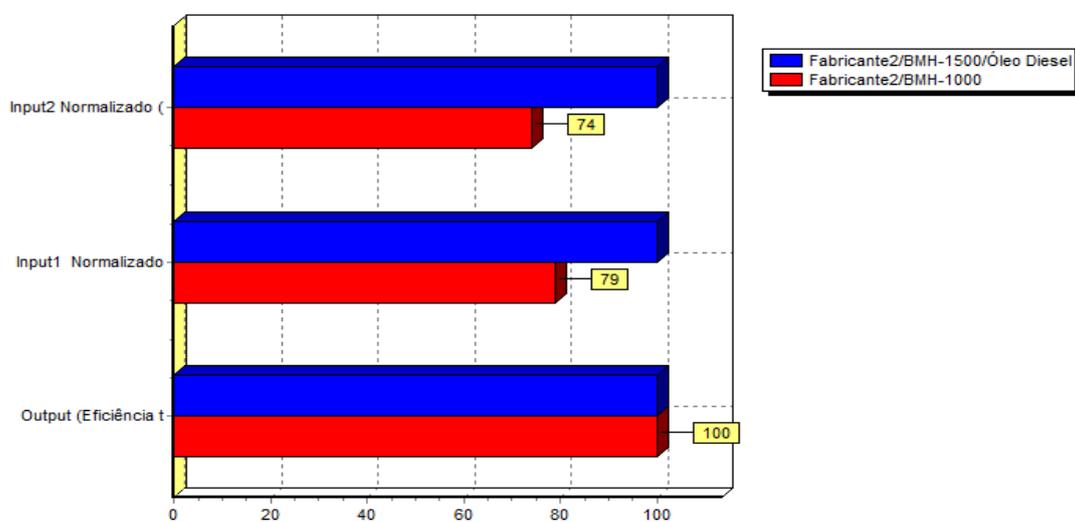


Gráfico C.57 - *Reference comparison:* Fabricante2/BMH-2000/Óleo Diesel e Fabricante2/BMH-1000/GN

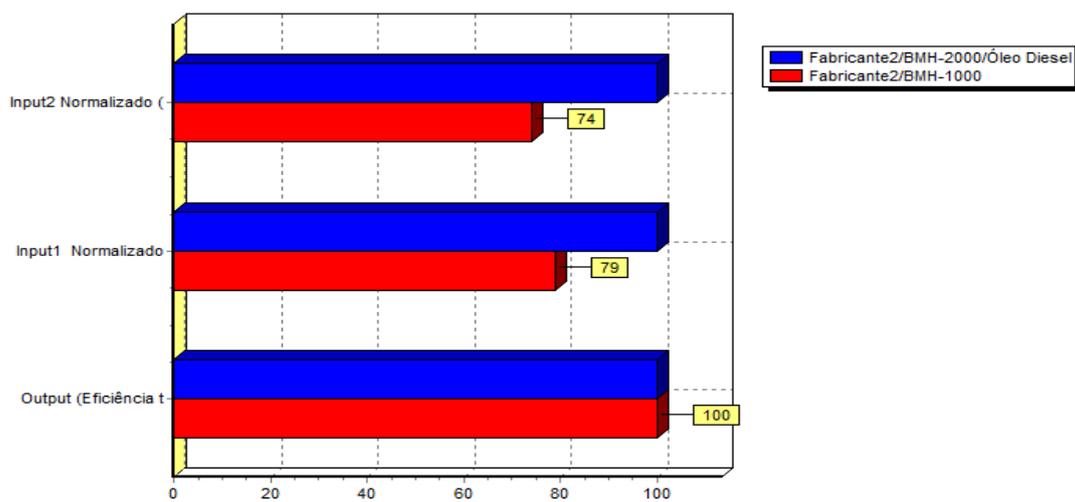


Gráfico C.58 - *Reference comparison: Fabricante2/BMH-1000/GLP e Fabricante2/BMH-2000/GN*

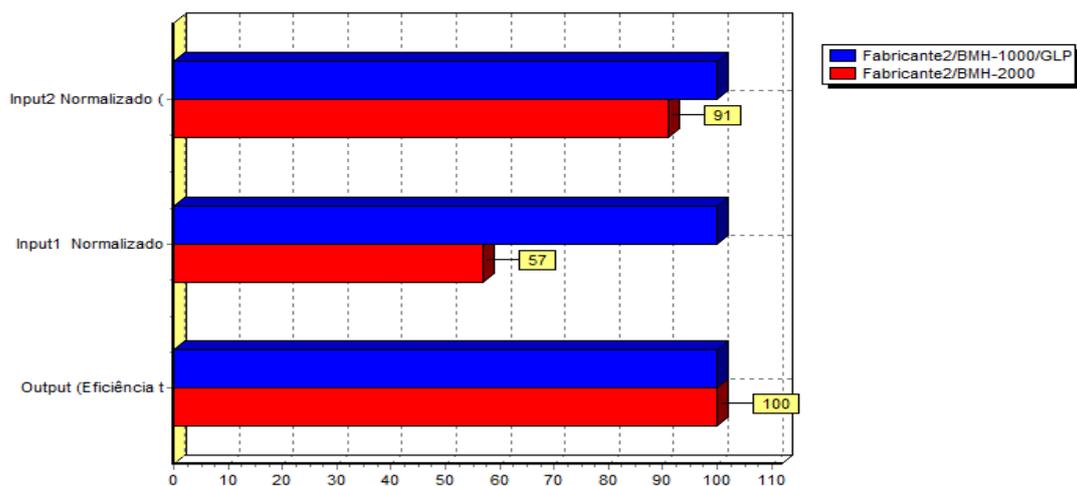


Gráfico C.59 - *Reference comparison: Fabricante2/BMH-2000/GLP e Fabricante2/BMH-1000/GN*

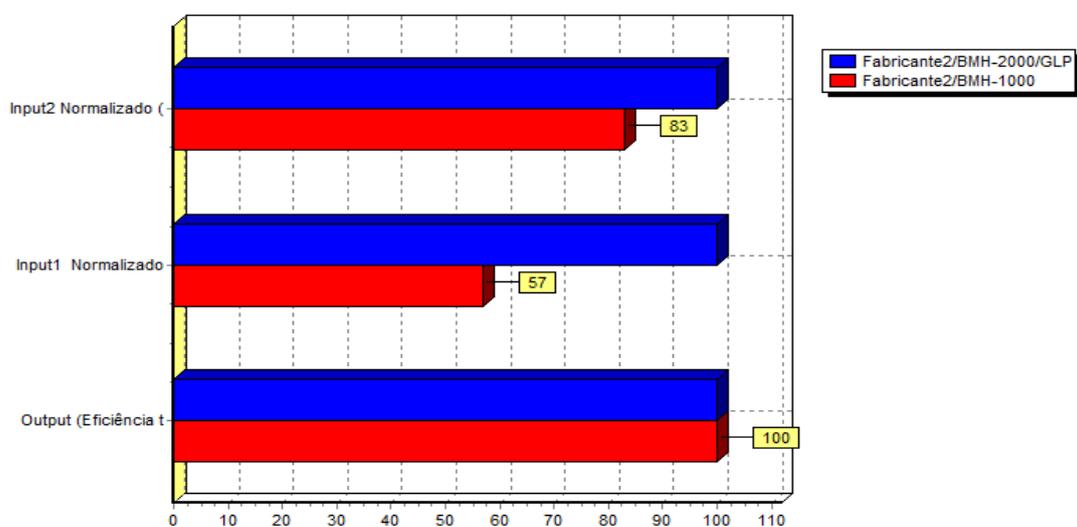


Gráfico C.60 - *Reference comparison: Fabricante2/BMH-1500/GLP e Fabricante2/BMH-1000/GN*

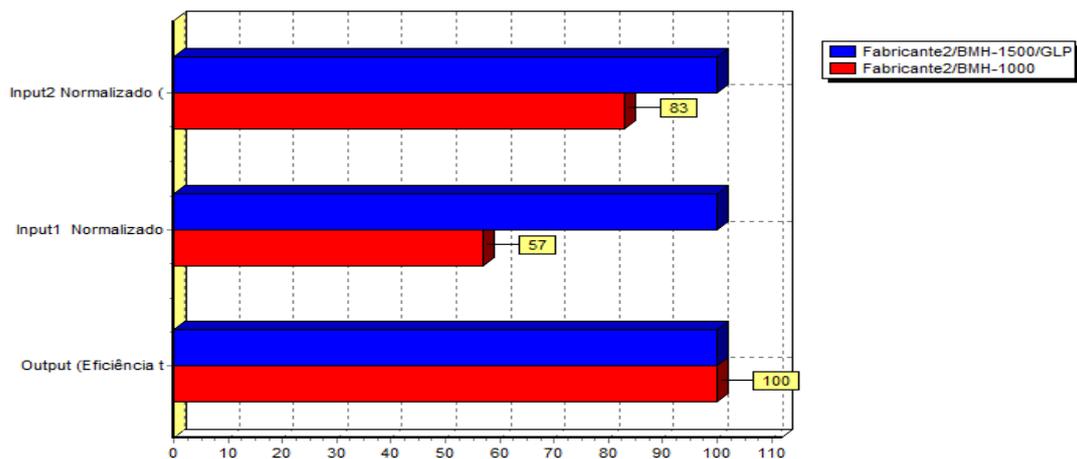


Gráfico C.61 - *Reference comparison:* Fabricante1/ETD-2000/GLP e Fabricante2/BMH-2000/GN

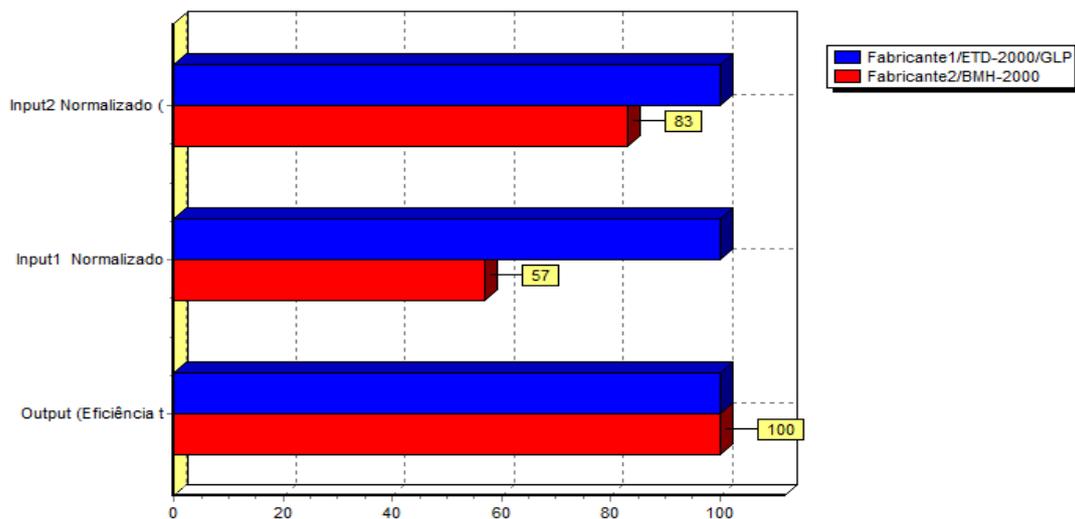


Gráfico C.62 - *Reference comparison:* Fabricante1/ETD-1500/GLP e Fabricante2/BMH-2000/GN

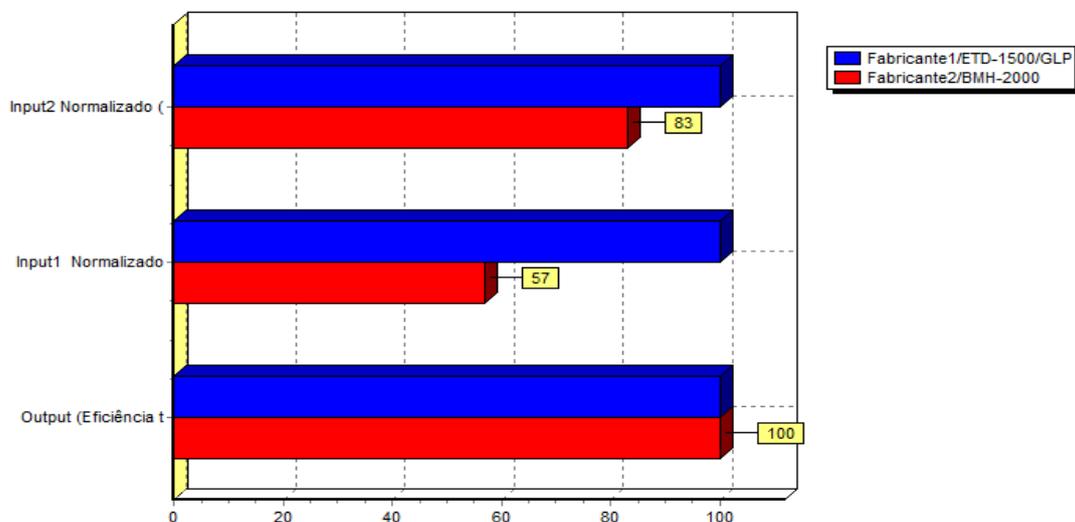


Gráfico C.63 - *Reference comparison:* Fabricante1/ETD-1000/GLP e Fabricante2/BMH-2000/GN

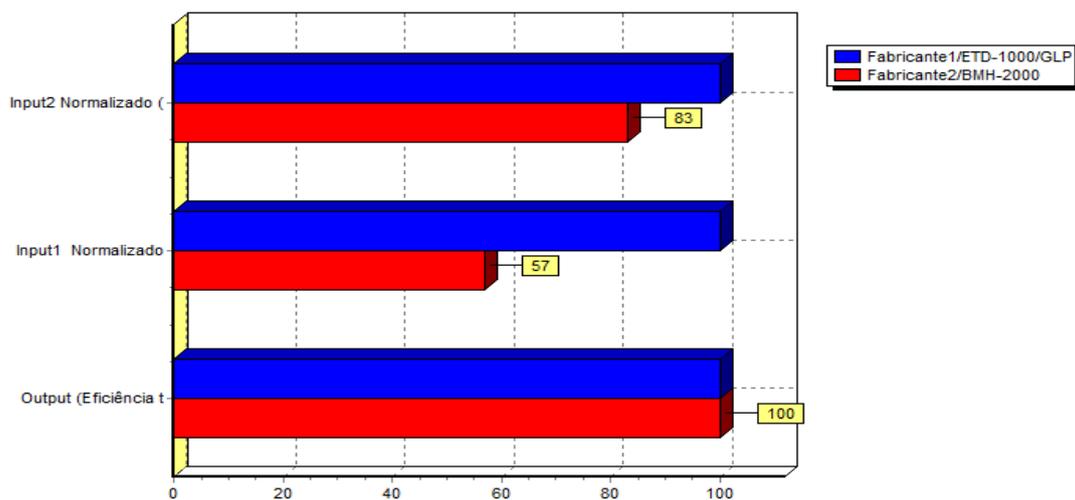


Gráfico C.64 - *Reference comparison:* Fabricante1/ETD-1000/Óleo Diesel e Fabricante2/BMH-2000/GN

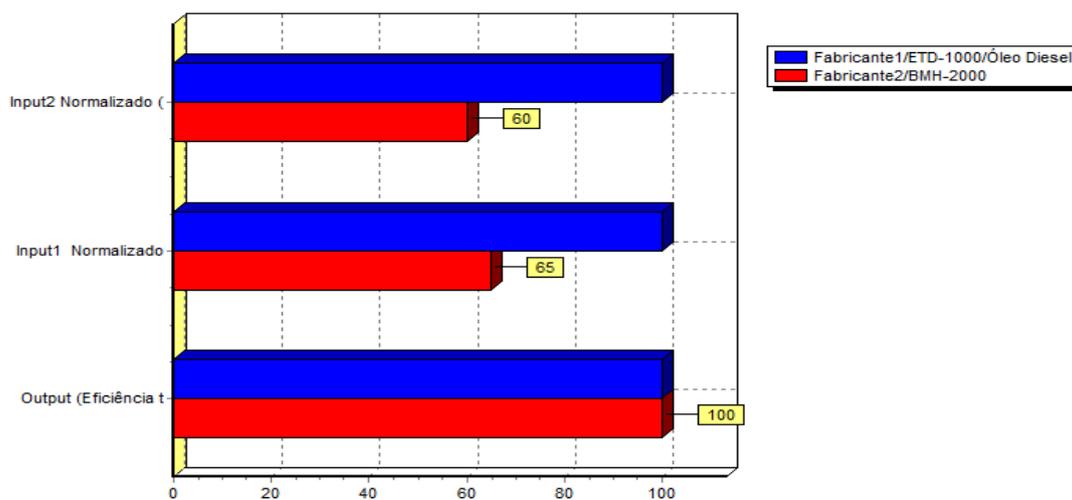


Gráfico C.65 - *Reference comparison:* Fabricante1/ETD-1000/GN e Fabricante1/ETD-1500/GN

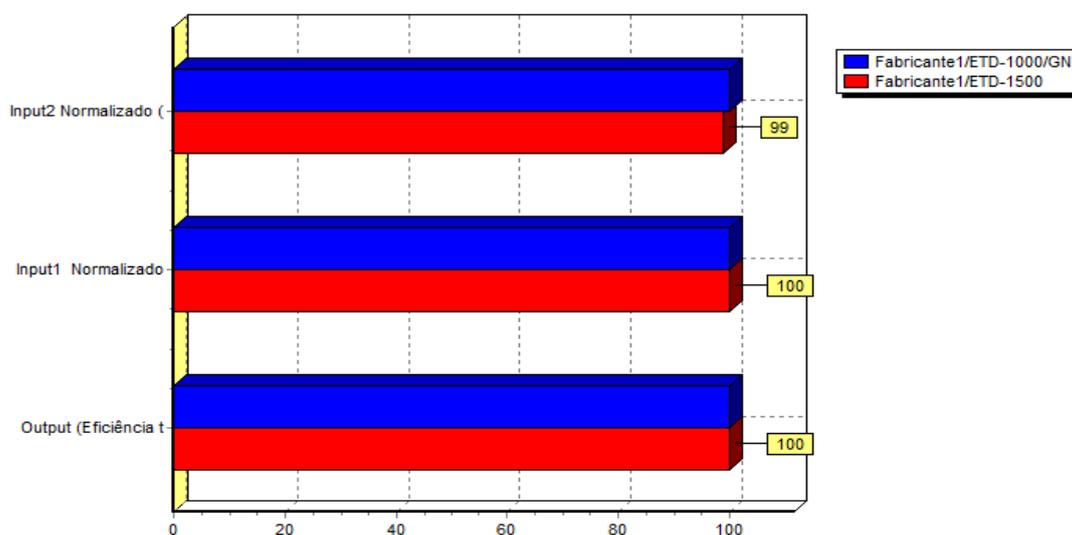


Gráfico C.66 - *Reference comparison:* Fabricante3/1000/30/GLP e Fabricante2/BMH-1000/GN

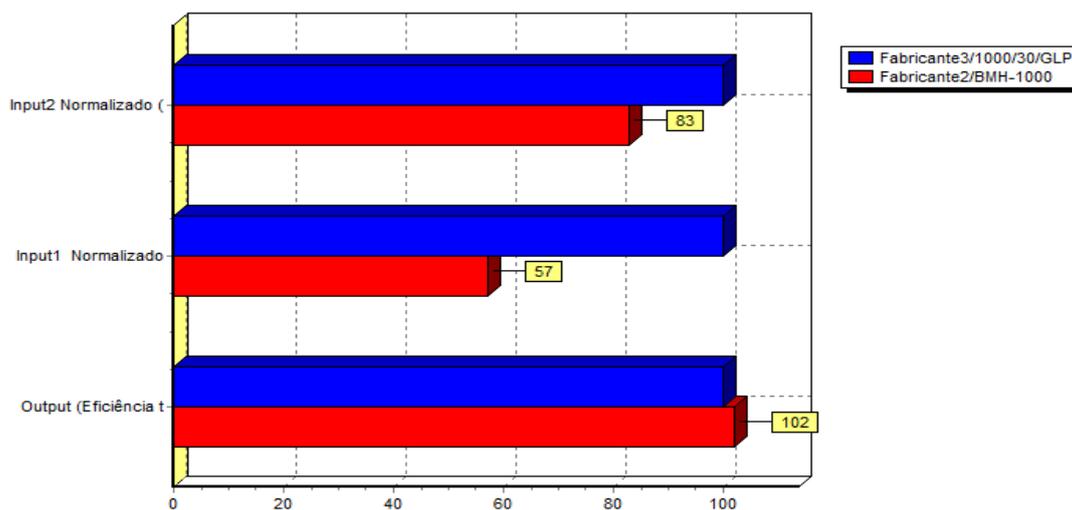


Gráfico C.67 - *Reference comparison:* Fabricante1/ETD-1500/Lenha e Fabricante1/ETD-1000/Lenha

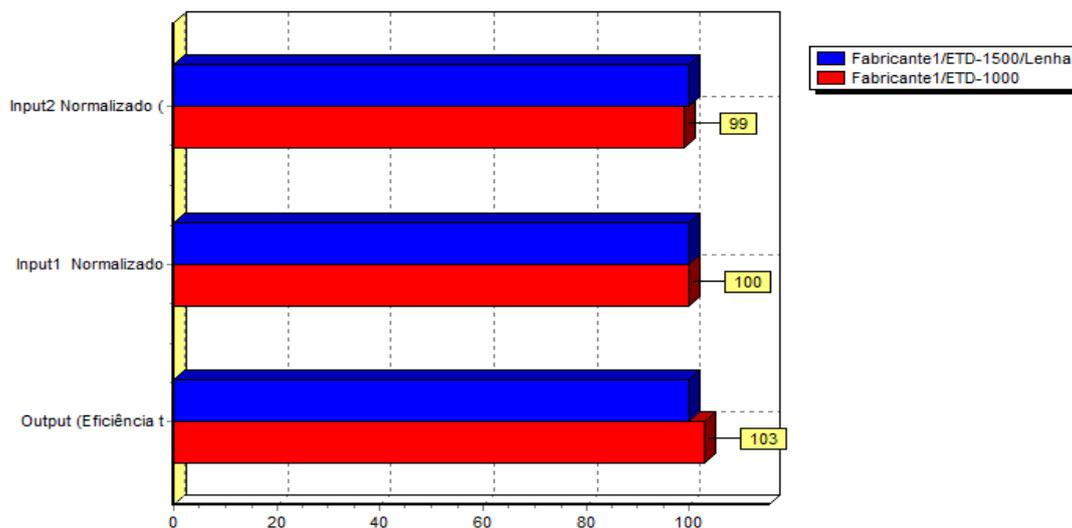


Gráfico C.68 - *Reference comparison:* Fabricante3/1500/45/GLP e Fabricante2/BMH-1000/GN

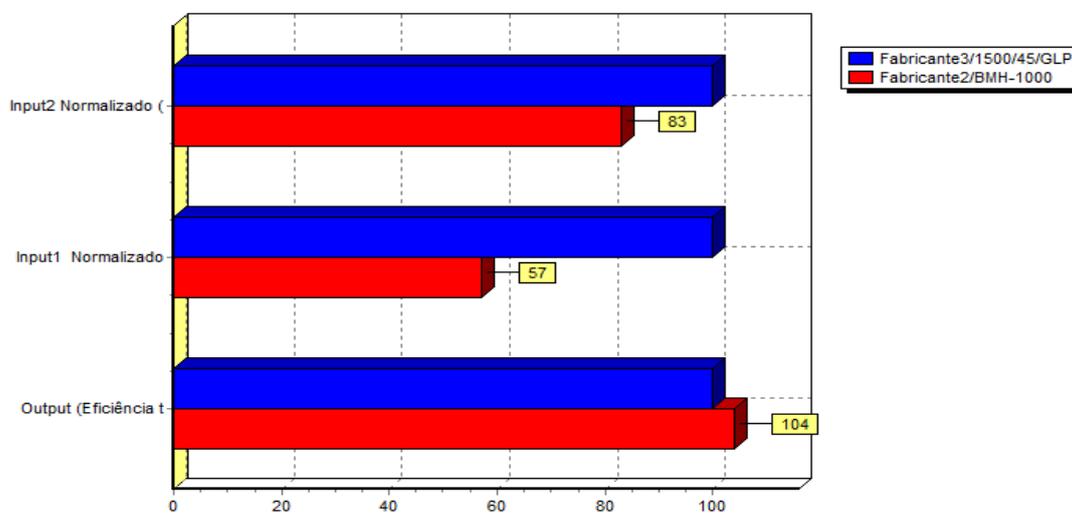


Gráfico C.69 - *Reference comparison:* Fabricante3/3000/80/GLP e Fabricante2/BMH-1000/GN

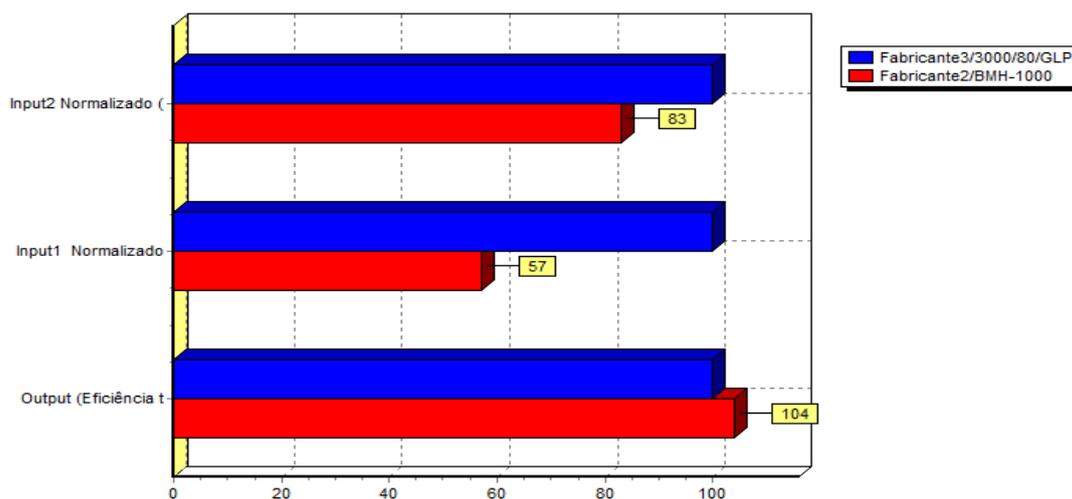


Gráfico C.70 - *Reference comparison:* Fabricante3/2000/60/GLP e Fabricante2/BMH-1000/GN

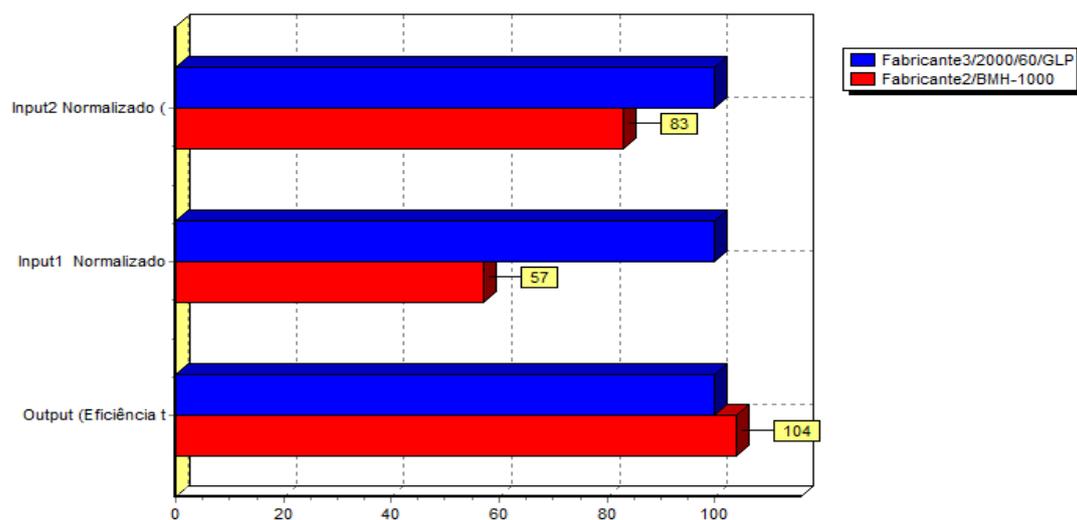


Gráfico C.71 - *Reference comparison:* Fabricante3/1500/45/GN e Fabricante2/BMH-1000/GN

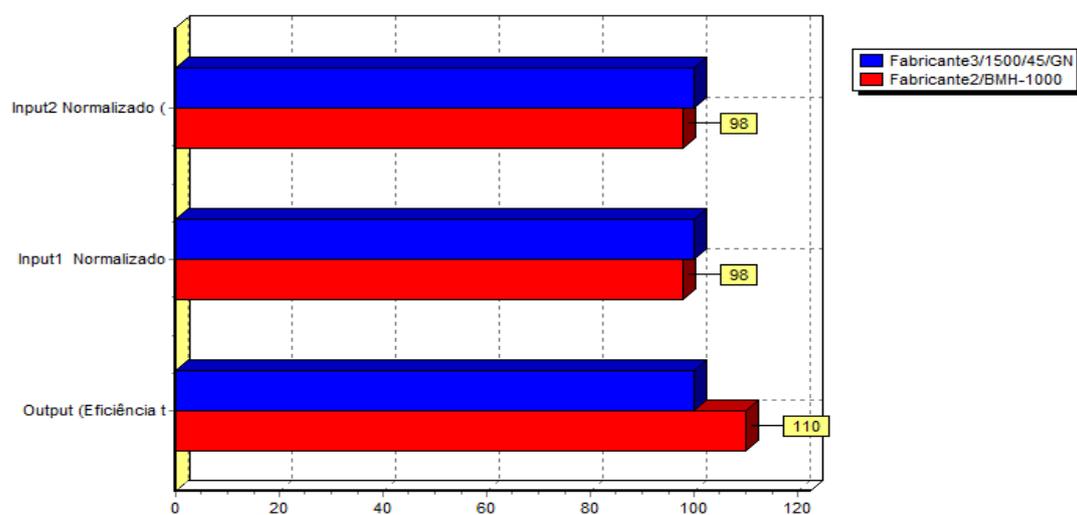


Gráfico C.72 - *Reference comparison:* Fabricante2/3000/80/GN e Fabricante2/BMH-1000/GN

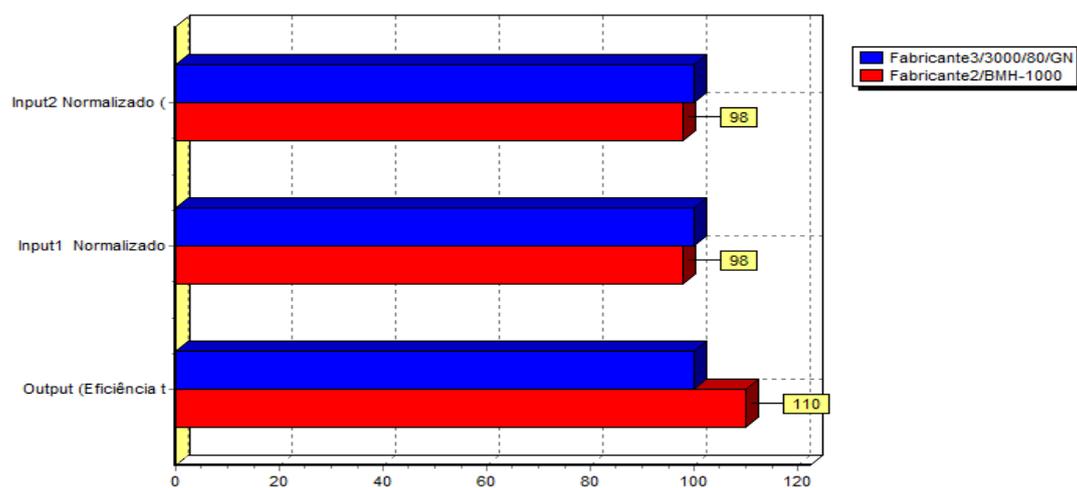


Gráfico C.73 - *Reference comparison:* Fabricante3/2000/60/GN e Fabricante2/BMH-1000/GN

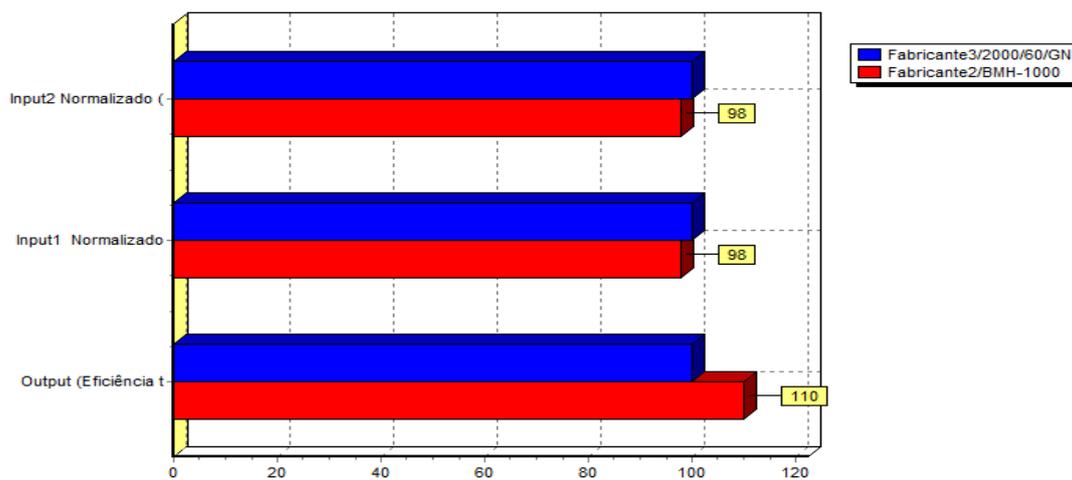


Gráfico C.74 - *Reference comparison:* Fabricante3/1000/30/GN e Fabricante2/BMH-1000/GN

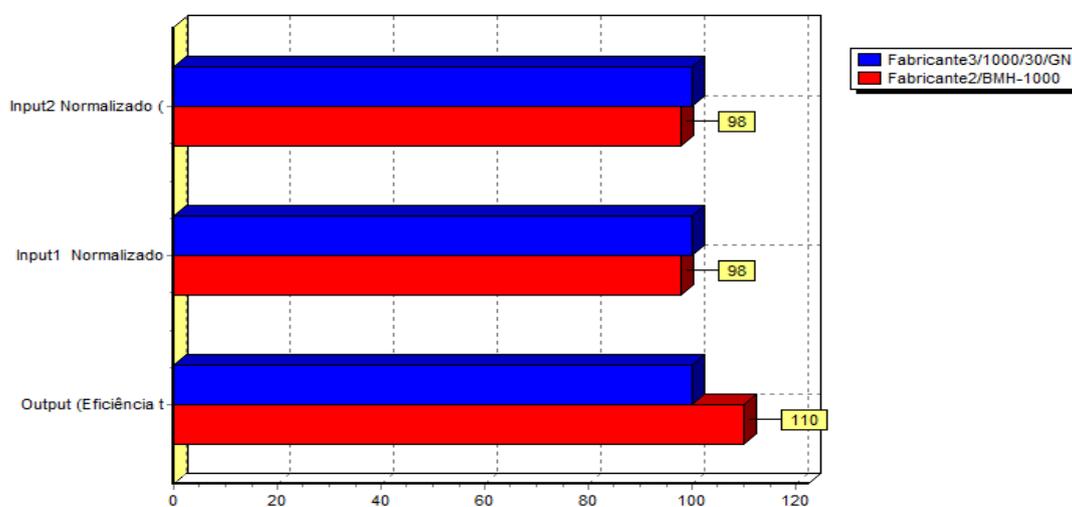


Gráfico C.75 - *Reference comparison:* Fabricante2/BMH-1000/Lenha e Fabricante1/ETD-1000/Lenha

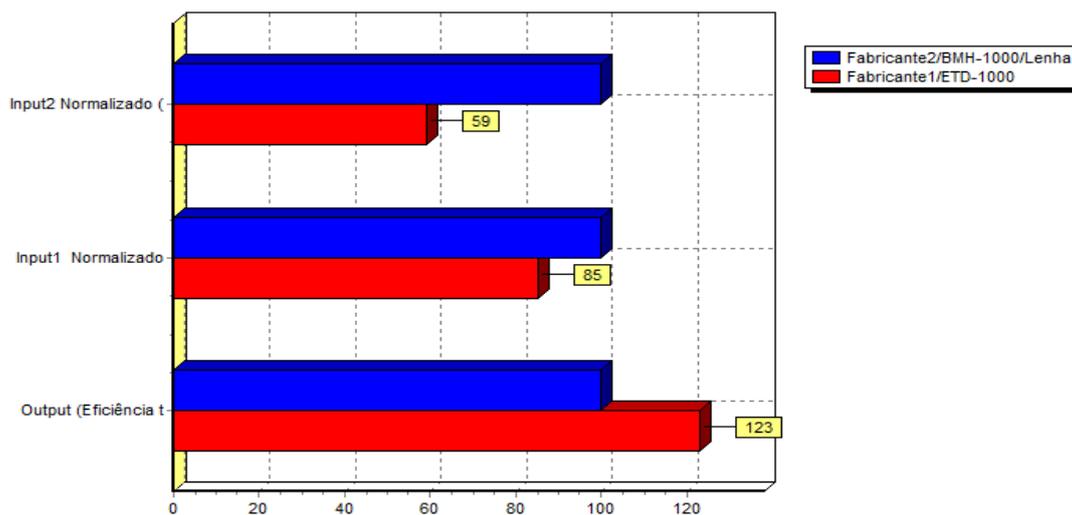


Gráfico C.76 - *Reference comparison: Fabricante2/BMH-1000/Lenha e Fabricante1/ETD-1500/GN*

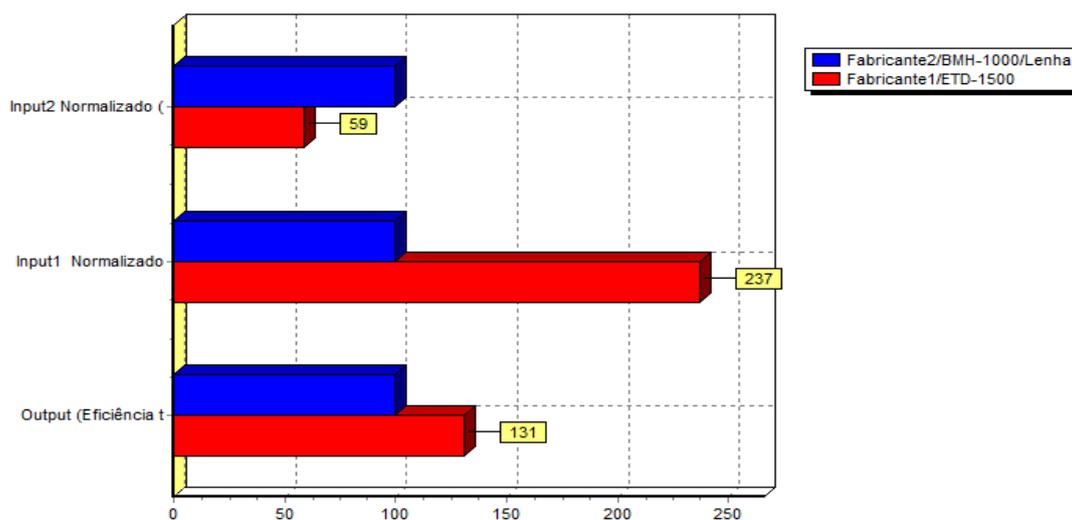


Gráfico C.77 - *Reference comparison: Fabricante2/BMH-2000/Lenha e Fabricante1/ETD-1000/Lenha*

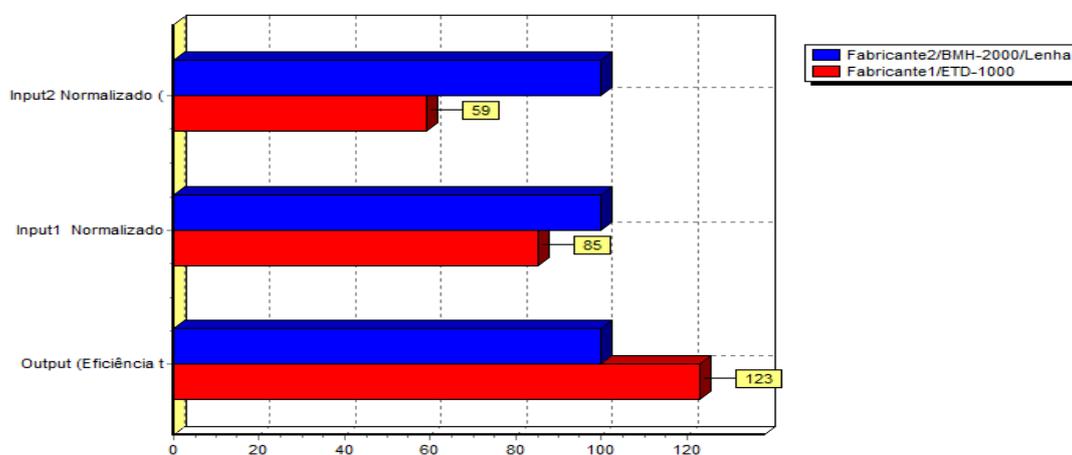


Gráfico C.78 - *Reference comparison: Fabricante2/BMH-2000/Lenha e Fabricante1/ETD-1500/GN*

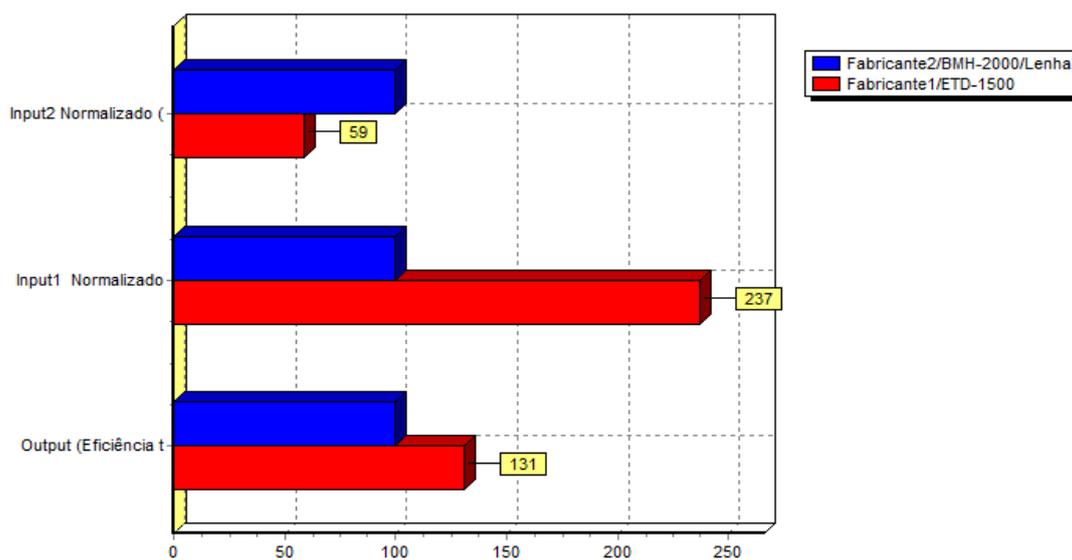


Gráfico C.79 - *Reference comparison: Fabricante2/BMH-1500/Lenha e Fabricante2/ETD-1000/Lenha*

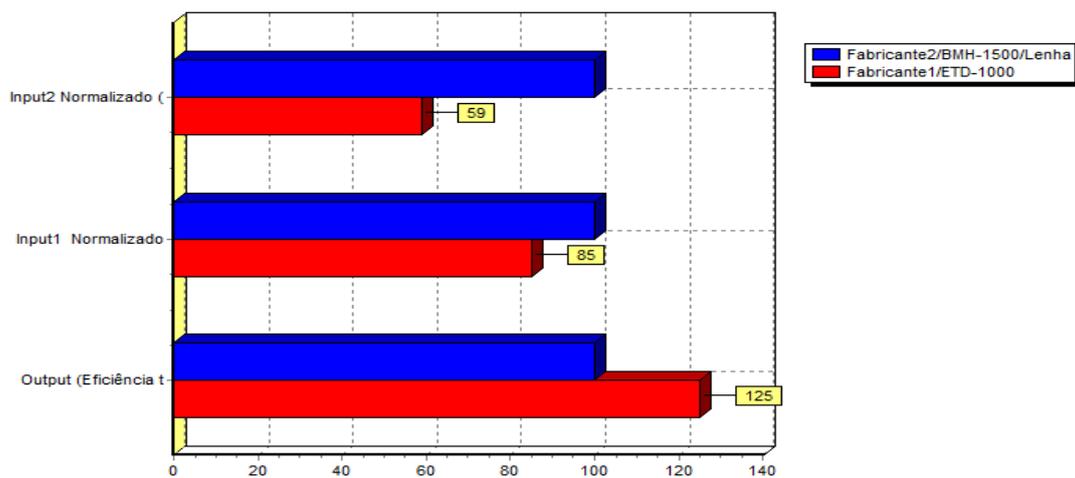
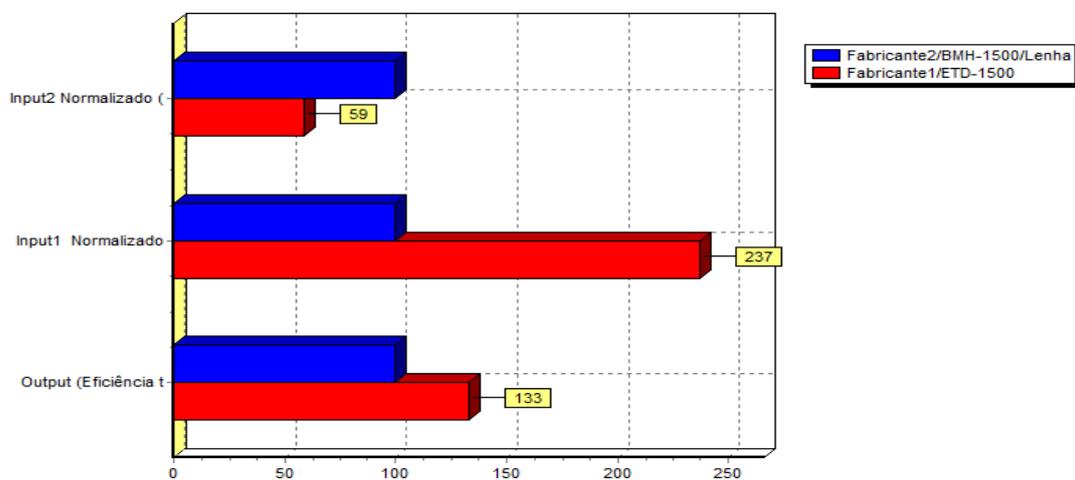


Gráfico C.80 - *Reference comparison: Fabricante2/BMH-1500/Lenha e Fabricante1/ETD-1500/GN*





**ANEXO A**  
**METODOLOGIA *TOP-DOWN* DO IPCC**

Para quantificar o nível de emissão de CO<sub>2</sub> a partir do volume de energético consumido, será utilizada a metodologia *top-down* do IPCC (1996). Tal metodologia foi selecionada, devido à menor complexidade de obtenção dos dados e por sua confiabilidade.

É importante destacar que essa metodologia do IPCC propõe uma quantificação do volume de emissão sem considerar a propriedade de captura de CO<sub>2</sub>, durante o estágio de desenvolvimento, dos energéticos de caráter renovável. Portanto, os resultados deverão ser interpretados com cautela para que não haja conclusões precipitadas.

Além disso, a metodologia supõe que, uma vez introduzido na economia nacional, em um determinado ano, o carbono contido num combustível ou é liberado para a atmosfera ou é retido de alguma forma (como, por exemplo, por meio do aumento do estoque do combustível, da incorporação a produtos não energéticos ou da sua retenção parcialmente inoxidado). A grande vantagem da metodologia *top-down*, portanto, é não necessitar de informações detalhadas de como o combustível é utilizado pelo usuário final ou por quais transformações intermediárias ele passa antes de ser consumido.

Segundo o MCT (2006), o cálculo das emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis pela abordagem *top-down* do IPCC abrange as seguintes etapas:

**i) Determinação do consumo aparente dos combustíveis em tonelada equivalente de petróleo (tep).**

O consumo aparente representa a quantidade de combustível consumida. Esse valor pode ser dado em tep, m<sup>3</sup>, litros, kg, toneladas ou em qualquer outra unidade para representar a quantidade consumida. A tonelada equivalente de petróleo (tep) é uma unidade de energia definida como calor libertado na combustão de uma tonelada de petróleo cru, aproximadamente, 42 gigajoules.

Se o consumo não estiver informado em tep, considerar o poder calorífico superior para identificar a quantidade em Mcal (Megacaloria) contida em certa quantidade de combustível. Com essa informação, será possível calcular, por simples regra de três, a quantidade de tep, pois sabe-se que 1tep=10.800 Mcal.

**ii) Conversão do consumo aparente para uma unidade de energia comum, terajoules (TJ);**

Para obter o consumo em TJ, basta multiplicar o consumo em tep pelo fator de conversão. Sabe-se que o fator de conversão é obtido multiplicando-se  $45,217 \times 10^{-3}$  pelo fator

de correção. Já o fator de correção é igual a 0,95, quando está tratando-se de combustíveis sólidos e líquidos e 0,90, quando o combustível é gasoso.

**iii) Transformação do consumo aparente de cada combustível em conteúdo de carbono, mediante a sua multiplicação pelo fator de emissão de carbono do combustível;**

Para obter o conteúdo de carbono inserido no combustível, basta multiplicar o consumo aparente dado em TJ pelo fator de emissão de carbono dado em tonelada de carbono por terajoule.

A Tabela D.1 apresenta o fator de emissão de C e de CO<sub>2</sub> para cada combustível.

Tabela D.1 - Fator de emissão de C e de CO<sub>2</sub> de cada energético

Energético	(t de C/TJ)	(t de CO <sub>2</sub> /TJ)
Petróleo	20	69,7
Carvão vapor	26,8	93,4
Gás natural	15,3	53,3
Óleo Diesel	20,2	70,4
Óleo Combustível	21,1	73,5
Gasolina	18,9	65,8
GLP	17,2	59,9
Querosene	19,6	68,3
Outros energéticos de petróleo	18,4	64,1
Lenha/Carvão vegetal/Bagaçó	29,9	104,2
Álcool etílico	16,8	58,5

Fonte - MCT (2006)

**iv) Determinação da quantidade de carbono de cada combustível destinada a fins não energéticos e a dedução dessa quantidade do carbono contido no consumo aparente, para se computar o conteúdo real de carbono possível de ser emitido.**

Nem todo combustível fornecido a um país é destinado para fins energéticos. Parte dele é utilizado como matéria-prima na manufatura de produtos não energéticos, onde o carbono torna-se fixado, tais como, plásticos e asfalto, etc. Na metodologia do IPCC, esse carbono é denominado “estocado”, devendo-se subtraí-lo do conteúdo de carbono do consumo aparente de combustíveis.

O cálculo do carbono estocado para cada combustível, segundo a metodologia do IPCC é feito com a seguinte equação:

$$\eta = 10^{-3} \times \rho \times \Phi \times \gamma \times \varphi$$

onde:

$$\eta = \text{carbono estocado (em Gg C)}$$

$\rho$  = quantidade de combustível com uso não energéticos (tep)

$\Phi$  = fator de conversão de tep para TJ (TJ/tep)

$\gamma$  = fator de emissão de carbono (tC/TJ)

$\varphi$  = fração de carbono estocada

Como os dados utilizados neste trabalho referem-se ao consumo final energético dos combustíveis, não foi determinado a quantidade de combustíveis destinadas ao setor não energético. Diante disso, não foi necessário introduzir no cálculo de emissão de CO<sub>2</sub>, a parcela de carbono estocado para cada combustível.

**v) Correção dos valores para se considerar a combustão incompleta do combustível;**

A diferença entre o carbono contido no consumo aparente de combustível e aquele estocado em produtos não energéticos representa o carbono disponível para ser emitido na combustão. Porém, nem todo esse carbono será oxidado, uma vez que, na prática, a combustão nunca ocorre de forma completa, deixando inoxidada uma pequena quantidade de carbono contida nas cinzas e outros subprodutos (MCT, 2006).

Com o objetivo de computar somente a quantidade de carbono realmente oxidada na combustão, faz-se uma correção dos valores para descontar a combustão incompleta do combustível.

Diante disso, para a obtenção das emissões reais, multiplica-se o carbono disponível para a emissão (nesse estudo, igual ao conteúdo de carbono inserido no combustível) pela fração de carbono oxidada na combustão.

A Tabela D.2 apresenta a fração de carbono oxidada na combustão para cada energético.

Tabela D.2 - Fração de carbono oxidada na combustão

<b>Combustível</b>	<b>IPCC</b>	<b>RTD</b>
<b>Combustíveis fósseis líquidos</b>		
<i>Combustíveis primários</i>		
Petróleo	0,990	0,990
Líquidos de Gás Natural	0,990	0,990
<i>Combustíveis secundários</i>		
Gasolina		0,990
Querosene		0,990
Óleo Diesel		0,990
Óleo Combustível		0,990
GLP		0,990
Lubrificantes		0,990
Coque de Petróleo		0,990
Óleos e subprodutos	0,990	
Outros		0,990
<b>Combustíveis fósseis sólidos</b>		
<i>Combustíveis primários</i>		
Carvão Metalúrgico		0,980
Antracito		0,980
Carvão Betuminoso		0,980
<i>Combustíveis secundários</i>		
Coque		0,990
<b>Combustíveis fósseis gasosos</b>		
Gás Natural Seco		0,995
Gás de Refinaria		0,995
<b>Biomassa sólida</b>		
Carvão vegetal		0,995

Fonte - MCT (2006)

**vi) Conversão da quantidade de carbono oxidada em emissões de CO<sub>2</sub>;**

A conversão da quantidade de carbono oxidada para quantidade total de dióxido de carbono emitido é realizada por meio da multiplicação do conteúdo de carbono (após a correção) por 44/12. Em que 44 é a massa molecular do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e 12 é a massa molecular do carbono (C).

O Quadro D.1 é um resumo do passo a passo para obtenção do nível de emissão de CO<sub>2</sub> a partir do consumo de determinado energético.

<b>Consumo em tep (1)</b>	<b>Conversão para TJ (2) = (1) x fator de conversão</b>	<b>Consumo em TJ (2)</b>	<b>Conteúdo de carbono (tC) = Fator de emissão de carbono em t de C/TJ x (2)</b>	<b>Dedução da quantidade de carbono p/ fins não energéticos</b>	<b>Correção dos valores p/ considerar combustão incompleta = Conteúdo de carbono (tC) x fração de carbono oxidado</b>	<b>Emissão de CO<sub>2</sub> = conteúdo de carbono (após correção) x 44/12</b>
---------------------------	---	--------------------------	--	---	---	--

Quadro 1. Resumo do passo a passo para obtenção do nível de emissão de CO<sub>2</sub> a partir do consumo de determinado energético