BRUNO ALVAREZ FERREIRA IGNÁCIO

Metodologia para Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa em
uma Cadeia de Suprimentos de Etanol suportada pela Tecnologia da
Automação e de Informação

São Paulo

2016

BRUNO ALVAREZ FERREIRA IGNÁCIO

Metodologia para Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa em
uma Cadeia de Suprimentos de Etanol suportada pela Tecnologia da
Automação e de Informação

Tese de Doutorado apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Doutor em
Ciências

Área de Concentração: Engenharia
Elétrica

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Luiz Pereira

São Paulo

2016

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Ignácio, Bruno Alvarez Ferreira

Metodologia para Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa em uma Cadeia de Suprimentos de Etanol suportada pela Tecnologia da Automação e de Informação / B. A. F. Ignácio -- versão corr. -- São Paulo, 2016.
178 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1.Sustentabilidade 2.Cadeia de Suprimentos 3.Gases de Efeito Estufa
4.Tecnologia da Automação 5.Tecnologia de Informação I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II.t.

À família, em especial à minha mãe,
Josefa, por me inspirar e me apoiar ao
longo de toda minha vida.

AGRADECIMENTOS

Desde o início do Doutorado diversas mudanças aconteceram na minha vida, oportunidades foram aceitas e desafios tiveram que ser superados, sempre contando com o apoio e o auxílio de pessoas especiais.

Sendo assim, gostaria de agradecer a estas pessoas que estiveram ao meu lado durante este período difícil, mas ao mesmo tempo gratificante.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador, o professor Livre Docente Sérgio Luiz Pereira, que, com muita dedicação e atenção assistiu-me ao longo deste doutorado. Seus ensinamentos, orientações e incentivo foram fundamentais para o desenvolvimento e conclusão desta tese.

Gostaria ainda de agradecer ao professor Dr. Alexandre Augusto Massote, ao professor Dr. Walter Gomes da Cunha Filho e ao professor MsC Alcides Ferreira da Silva, que me incentivaram a prosseguir neste caminho desde a minha graduação. Os seus ensinamentos, suas sugestões e as suas correções não foram só importantes no desenvolvimento deste estudo, como também na minha carreira profissional e na minha vida pessoal.

Agradeço, também, aos professores das disciplinas realizadas ao longo deste Doutorado, pelos ensinamentos recebidos e pelos proveitosos diálogos ao longo deste programa.

Não poderia esquecer de agradecer a minha família, que me incentivou ao longo de todo o período dessa Pós-Graduação. Especialmente, aos meus primos, Marcos Nunes Alvarez e Mariana Nunes Alvarez, que sempre me auxiliaram, lendo e relendo as páginas deste estudo, e aos meus tios, Marcos Agustin Alvarez Alvarez e Lorenzo Alvarez, que apoiaram e incentivaram a perseguir meus sonhos.

Igualmente importante é agradecer ao meu pai, Raimundo Ferreira Ignácio, que, juntamente com minha mãe Josefa, me ensinou os encantamentos de ser um professor. Você sempre será uma inspiração. Obrigado por sempre me auxiliar nas horas difíceis.

Preciso ainda agradecer aos meus colegas de trabalho, os professores Silvio Passareli, Fernando Modesto Yarussi, José Sarkis Arakelian e Silvye Ane Massaini que me incentivaram a concluir esta tese, me auxiliando a conciliar os desafios profissionais com os acadêmicos

Igualmente agradeço ao professor Rafael Abrão Possik, que além de me incentivar, também me auxiliou no desenvolvimento e no aperfeiçoamento desta tese.

No convívio profissional, ainda, agradeço ao professor Rodrigo Viana, que sempre me auxiliou com seus conhecimentos a desenvolver este estudo. Ainda agradeço à Cinthya Felix, Larissa Ferreira e Sheila Aparecida Teodoro pelo apoio nos últimos dois anos.

Nos últimos seis anos, comecei a conviver mais com a professora MsC Leny Leitão, uma pessoa especial, que não poderia deixar de agradecer. Suas orientações, ensinamentos e conversas foram, são e sempre serão de grande valia para minha vida.

Finalmente, preciso agradecer a duas pessoas em especial.

A primeira foi uma pessoa que entrou na minha vida em um dia 14 de dezembro, dez meses depois, novamente em um dia 14, ela mudou minha vida por completo, tornando-a mais alegre. Amanda Veit Braune, sem você esta tese não estaria concluída. Obrigado por estar ao meu lado, me abraçando nas incertezas, seu sorriso me inspira e me motiva a sempre fazer o melhor.

A segunda é a pessoa que mais incentivou e me apoiou ao longo da minha vida. Josefa Alvarez Alvarez, você é e sempre será meu maior orgulho, meu exemplo de vida, minha inspiração profissional e pessoal. Minha mãe, muito obrigado por estar ao meu lado, sendo meu Norte, me apoiando e me incentivando a buscar o melhor, e a superar todos os desafios colocados em minha vida. Se não fosse por você, com certeza, não teria chegado até aqui.

Nem tudo que se enfrenta pode ser
modificado, mas nada pode ser modificado
até que seja enfrentado.

Albert Einstein

RESUMO

Os aspectos ambientais vêm ganhando importância para a gestão de grandes, e até mesmo, de pequenas empresas, que passaram a adotar práticas sustentáveis para atender às legislações governamentais, além de buscar eventuais retornos econômicos e mercadológicos. Assim, considerando este cenário, este estudo tem como foco a análise da emissão de gases de efeito estufa, partindo da premissa de que para minimizar esta emissão é necessário examinar todos os processos de extração, produção e transporte ocorridos ao longo da cadeia de suprimentos. Nesse sentido, este estudo tem como objetivo principal o desenvolvimento de uma metodologia para redução da emissão de tais gases em uma cadeia de suprimentos, utilizando tecnologias da automação e de informação. Para verificar sua efetividade, tal metodologia foi aplicada em uma cadeia de suprimentos de etanol, que teve suas emissões estimadas, avaliadas e aperfeiçoadas por meio do uso de um Sistema Inteligente de Navegação, que pretendia diminuir as distâncias rodadas e o consumo de combustível dos veículos usados na distribuição do produto. Os resultados obtidos nas simulações realizadas expõem a possibilidade de reduzir, em um cenário otimista, até 13,42% das emissões da cadeia analisada.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Cadeia de Suprimentos; Gases de Efeito Estufa; Tecnologia da Automação; Tecnologia de Informação.

ABSTRACT

Environmental aspects are gaining importance for the management of big and small organizations. These have adopted environmental practices to meet government laws and to pursue economic and market returns. So, considering this scenario, this study focuses on the analysis of the emission of greenhouse gases, on the premise that to minimize this issue is necessary to examine all processes of extraction, production and transportation occurring along the supply chain. In this sense, this thesis has as main objective the development of a methodology that seeks to reduce the emission of greenhouse gases in a supply chain, using for this technologies of automation and information. To evaluate its effectiveness, the methodology is applied in an ethanol supply chain located in Brazil, which has its emissions estimated, evaluated and possibly optimized through the use of an intelligent navigation system during the distribution process. This technology intends to assist the vehicle's driver to find routes that minimize the distance traveled and to maintain an optimal speed set by the manufacturer to reduce the consumption of energy. The results obtained in the simulations show that the implementation of the methodology can reduce, in an optimistic scenario, up to 13.42 % of the greenhouse gases emissions of the ethanol SC analyzed.

Keywords: Sustainability; Supply chain; Greenhouse Gases; Automation Technology; Information Technology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - As dimensões do desenvolvimento sustentável	34
Figura 2 - Processo produtivo genérico	50
Figura 3 - Representação de uma cadeia de suprimentos básica	54
Figura 4 - Níveis de complexidade de uma cadeia de suprimentos.....	55
Figura 5 - Processos a serem integrados na gestão da cadeia de suprimentos	64
Figura 6 - Relações com fornecedores, considerando a centralidade da atividade e o custo de transação	69
Figura 7 - Vantagem competitiva de acordo com o modelo dos três Cs.....	73
Figura 8 - Obtendo vantagem competitiva pela cadeia de suprimentos	75
Figura 9 - Integração de atividades até a origem da gestão da cadeia de suprimentos	77
Figura 10 - Escopo do <i>triple bottom line</i>	79
Figura 11 - A relação entre o aumento da temperatura do planeta e a concentração de GEE.....	83
Figura 12 - Fluxograma do gerenciamento de GEE.....	89
Figura 13 - Relacionamento entre as partes das normas ISO 14.064	93
Figura 14 - Fases da criação de um inventário de carbono	95
Figura 15 - Ilustrativa das etapas da Metodologia proposta	100
Figura 16 - Fluxograma dos subprocessos da Etapa 6 da Metodologia	106
Figura 17 - Fluxograma da etapa agrícola de uma cadeia de suprimentos do etanol	113
Figura 18 - Fluxograma da etapa industrial de uma cadeia de suprimentos do etanol	115
Figura 19 - Matriz de transporte e de emissões por modal no Brasil	118

Figura 20 - Gráfico e Informações acerca da distância entre a usina e o porto de Santos	133
Figura 21 - Arquitetura de <i>hardware</i> do Sistema de Navegação Inteligente.....	140
Figura 22 - Infraestrutura de <i>software</i> do Sistema de Navegação Inteligente	142
Figura 23 - Mercado de veículos brasileiro de 2003 a 2008	177

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - As dimensões do ecodesenvolvimento	29
Tabela 2 - As diferentes definições do conceito de desenvolvimento sustentável ...	32
Tabela 3 - Princípios do desenvolvimento sustentável	35
Tabela 4 - Emissões de gases de efeito estufa dos países participantes do protocolo de Kyoto	42
Tabela 5 - Diferentes perspectivas da evolução da variável ambiental para as empresas.....	44
Tabela 6 - Evolução da empresa sustentável	48
Tabela 7 - Vantagens e benefícios motivadores para adotar práticas sustentáveis .	49
Tabela 8 - Principais abordagens relacionadas com a sustentabilidade	51
Tabela 9 - Transformações nos negócios e as suas implicações na gestão empresarial.....	60
Tabela 10 - Tipos de relacionamentos entre empresas	68
Tabela 11 - Comparativo das matrizes de transporte em diversos países e regiões	118
Tabela 12 - Emissões de gases de efeito estufa provenientes do solo	122
Tabela 13 - Emissões de gases de efeito estufa provenientes do uso de insumos químicos	123
Tabela 14 - Emissões de gases de efeito estufa provenientes do uso de óleo diesel	125
Tabela 15 - Emissões de gases de efeito estufa provenientes de queimadas	126
Tabela 16 - Emissões de gases de efeito estufa provenientes do transporte até a usina	129
Tabela 17 - Quantidade de insumos químicos utilizados na etapa industrial da cadeia de suprimentos do etanol	130

Tabela 18 - Quantidade convertida de insumos químicos utilizados na etapa industrial da cadeia de suprimentos do etanol e os seus fatores de emissão	131
Tabela 19 - Emissões de gases de efeito estufa provenientes da etapa industrial	132
Tabela 20 - Emissões de gases de efeito estufa provenientes da etapa de distribuição	134
Tabela 21 - Emissão de gases de efeito estufa em cada etapa da cadeia de suprimentos do etanol analisada.....	135
Tabela 22 - Comparação entre as emissões das etapas do manejo agrícola e da distribuição	136
Tabela 23 - Resultados obtidos com o uso do GPS no cenário pessimista.....	144
Tabela 24 - Resultados obtidos com o uso do GPS no cenário moderado	144
Tabela 25 - Resultados obtidos com o uso do GPS no cenário otimista	145
Tabela 26 - Resultados obtidos com o uso do caminhão modelo MB 2318	146
Tabela 27 - Resultados obtidos com o uso do caminhão modelo Ford Cargo 1933	148
Tabela 28 - Resultados obtidos com o uso do caminhão modelo MB Axor 1933...	149
Tabela 29 - Resultados alcançados, considerado o uso do GPS e a velocidade constante para o caminhão modelo MB 2318.....	150
Tabela 30 - Resultados alcançados, considerado o uso do GPS e a velocidade constante para o caminhão modelo Ford Cargo 1933	150
Tabela 31 - Resultados alcançados, considerado o uso do GPS e a velocidade constante para o caminhão modelo MB Axor 1933	151
Tabela 32 - Comparação entre os resultados obtidos no cenário original e aqueles alcançados com o uso do GPS	152
Tabela 33 - Comparação entre os resultados obtidos no cenário original e aqueles alcançados com a velocidade constante.....	153
Tabela 34 - Comparação entre os resultados obtidos no cenário original e aqueles alcançados com o uso total do Sistema Inteligente de Navegação para o caminhão modelo MB 2318	154

Tabela 35 - Comparação entre os resultados obtidos no cenário original e aqueles alcançados com o uso total do Sistema Inteligente de Navegação para o caminhão modelo Ford Cargo 1933	154
Tabela 36 - Comparação entre os resultados obtidos no cenário original e aqueles alcançados com o uso total do Sistema Inteligente de Navegação para o caminhão modelo MB Axor 1933	155
Tabela 37 - Etapas do etanol no Brasil e principais características	176
Tabela 38 - Produção brasileira de cana-de-açúcar, açúcar e etanol - safra 2007/2008	179
Tabela 39 - Usinas no Brasil - safra 2008/2009	180

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores do Brasil

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

C_2H_5OH - Etanol

C_2H_6O - Etanol

C_6H_{10} - Anidro de Ciclohexeno

CaO - Cal virgem

CCIN - Centro de Controle Inteligente de Navegação

CFCs - Clorofluorcarbono

CH_4 - Metano

CMMAD - Comissão Mundial do Desenvolvimento e Meio Ambiente

CNUMAD - Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento

CO_2 - Dióxido de Carbono

COP - Conferência das Partes

CQNUMC - Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

CRE - Certificação de Emissões Reduzidas

CS - Cadeia de Suprimentos

DS - Desenvolvimento Sustentável

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

FFV - *Flex-Fuel Vehicle*

GCS - Gestão da Cadeia de Suprimentos

GEE - Gases de Efeito Estufa

GPS - *Global Positioning System*

REET - *Greenhouse Gases, Regulated Emissions and Energy used in Transportation*

GSCF - *Global Supply Chain Forum*

GSCM - *Green Supply Chain Management*

H₂O_v - Vapor d'água

H₂SO₄ - Ácido Sulfúrico

HFCs - Hidrofluorcarbonos

ISO - *International Organization for Standardization*

IUCN - *Union for Conservation Nature*

LCA - *Life Cycle Assessment*

MAD - Módulo de Análise de Dirigibilidade

MB - Mercedes-Benz

MCR - Módulo de Condições de Rodagem

MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

MDR - Módulo Decisor de Rotas e Dirigibilidade

MIV - Módulo Identificador de Veículos

N₂O - Óxido Nitroso

NaOH - Hidróxido de Sódio

O₃ - Ozônio

OCDE - *Organization for Economic Co-operation and Development*

ONU - Organização das Nações Unidas

PCI - Poder Calorífico Inferior

PFCs - Perfluorcarbonos

Pro-álcool - Programa Nacional do Alcool

RCE - Certificado de Redução de Emissões

REGEECS - Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa em uma Cadeia de Suprimentos

RFA - *Renewable Fuels Agency*

RTFO - *Renewable Transport Fuel Obligation*

SF₆ - Hexafluoreto de Enxofre

SGA - Sistema de Gestão Ambiental

SGQ - Sistema de Gestão de Qualidade

SIN - Sistema Inteligente de Navegação

TA - Tecnologia da Automação

TI - Tecnologia de Informação

TKU - Tonelada-Quilômetro Útil

TQEM - *Total Quality Environmental Management*

UDOP - União dos Produtores de Bioenergia

ÚNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar

WRI - *World Resources Institute*

WWF - *World Wildlife Fund*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	15
INTRODUÇÃO	22
1. A SUSTENTABILIDADE E SEUS IMPACTOS NA COMPETITIVIDADE EMPRESARIAL.....	26
1.1 Sustentabilidade: conceitos e abrangências.....	26
1.1.1 Ecodesenvolvimento	27
1.1.2 Desenvolvimento Sustentável.....	30
1.2 Evolução histórica do conceito da Sustentabilidade e das práticas sustentáveis	37
1.3 A importância da Sustentabilidade para as Empresas: o uso de práticas sustentáveis para alavancar a competitividade empresarial.....	45
2. O PAPEL DA GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS NA COMPETITIVIDADE DAS EMPRESAS	52
2.1 A Cadeia de Suprimentos: definições, abrangência e complexidade	52
2.2 Gestão da Cadeia de Suprimentos: definições e abrangências	58
2.2.1 A administração dos relacionamentos na Gestão da Cadeia de Suprimentos: o compartilhamento de riscos e recompensas	66
2.3 Vantagem Competitiva e Gestão da Cadeia de Suprimentos.....	71
2.4 A evolução da Gestão da Cadeia de Suprimentos até a Sustentabilidade.....	76
3. O MERCADO DE CARBONO E AS METODOLOGIAS DE GERENCIAMENTO DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA.....	82
3.1 Os Gases de Efeito Estufa, o Mercado de Carbono e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.....	82

3.2 O Gerenciamento e as Metodologias para a quantificação da emissão de Gases de Efeito Estufa	87
3.2.1 Metodologia de Quantificação de GEE: o <i>software</i> GREET e a <i>Renewable Transport Fuel Obligation</i> (RTFO)	90
3.2.2 Metodologia de Quantificação de GEE: as Normas ISO 14.064	91
3.2.3 Metodologia de Quantificação de GEE: o <i>GHG Protocol</i>	94
4. METODOLOGIA PARA REDUÇÃO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS (REGEECS)	98
4.1 A Metodologia proposta: suas etapas, características e abrangência	98
4.1.1 Etapa 1: A Identificação e a seleção do produto ou serviço em estudo ..	101
4.1.2 Etapa 2: Mapeamento dos processos da Cadeia de Suprimentos do produto	102
4.1.3 Etapa 3: Identificação e coleta dos insumos e energéticos demandados por diferentes etapas da Cadeia de Suprimentos	103
4.1.4 Etapa 4: Revisão das etapas anteriores	104
4.1.5 Etapa 5: Mapeamento dos processos menos eficientes da Cadeia de Suprimentos	104
4.1.6 Etapa 6: Elaboração, análise e escolha das propostas com o emprego de TI e TA para a redução de emissão de GEE	105
4.1.7 Etapa 7: Estimativa da emissão de GEE da Cadeia de Suprimentos	107
4.1.8 Etapa 8: Análise do volume de GEE estimado	107
4.1.9 Etapa 9: Implementação da Proposta Escolhida	107
4.1.10 Etapa 10: Medição e análise da emissão de GEE da Cadeia de Suprimentos	108
4.1.11 Etapa 11: Estabelecimento de novas metas para a redução da emissão de GEE da Cadeia de Suprimentos	108

5. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA REGEECS PARA REDUÇÃO DA EMISSÃO DE GEE EM UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	110
5.1 Definição da Cadeia de Suprimentos escolhida	110
5.2 Aplicação da Metodologia proposta na Cadeia de Suprimentos do Etanol ...	111
5.2.1 Etapa 1: A Identificação e a seleção do produto	111
5.2.2 Etapa 2: Mapeamento dos processos da Cadeia de Suprimentos do Etanol	112
5.2.2.1 Etapa Agrícola da Cadeia de Suprimentos do Etanol	113
5.2.2.2 Etapa Industrial da Cadeia de Suprimentos do Etanol	114
5.2.2.3 Etapa de Distribuição da Cadeia de Suprimentos do Etanol.....	117
5.2.3 Etapa 3: Identificação e coleta dos insumos e energéticos demandados por diferentes etapas da Cadeia de Suprimentos	119
5.2.3.1 Etapa Agrícola da Cadeia de Suprimentos do Etanol	120
5.2.3.1.1 Emissões de Gases de Efeito Estufa no Manejo Agrícola da Cana-de-Açúcar	120
5.2.3.1.2 Emissões de Gases de Efeito Estufa no Transporte da Cana-de-Açúcar até a Usina	126
5.2.3.2 Etapa Industrial da Cadeia de Suprimentos do Etanol	129
5.2.3.3 Etapa de Distribuição da Cadeia de Suprimentos do Etanol.....	132
5.2.3.4 Resumo das Emissões de Gases de Efeito Estufa da Cadeia de Suprimentos de Etanol	134
5.2.4 Etapas 4 e 5: Revisão das etapas anteriores e Mapeamento dos processos menos eficientes da Cadeia de Suprimentos	135
5.2.5 Etapa 6: Elaboração, análise e escolha das propostas com o emprego de TI e TA para a redução de emissão de GEE	135
5.2.6 Etapa 7: Estimativa da emissão de GEE da Cadeia de Suprimentos	142
5.2.6.1 Estimativas para a situação com o uso do GPS.....	143

5.2.6.2 Estimativas para a situação com uma condução sem variações de velocidade.....	145
5.2.6.3 Estimativas para a situação com o uso do GPS e com uma condução sem variações de velocidade	149
5.2.7 Etapa 8: Análise do volume de GEE estimado	151
5.2.8 Etapas 9 e 10: Implementação da Proposta Escolhida, Medição e Análise da emissão de GEE da Cadeia de Suprimentos	155
5.2.9 Etapa 11: Estabelecimento de novas metas para a redução da emissão de GEE da Cadeia de Suprimentos	156
6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	157
REFERÊNCIAS	161
APÊNDICE A.....	174

INTRODUÇÃO

No decorrer da segunda metade do século XX, diversas áreas do conhecimento científico tornaram-se cada vez mais relevantes para a gestão de grandes, e até mesmo, de pequenas empresas; entre essas áreas estão aquelas que englobam estudos sobre a cadeia de suprimentos e sobre sustentabilidade.

Embora o conceito de cadeia de suprimentos (CS) não seja atual, ele ganhou novos contornos durante as duas últimas décadas do século passado, quando as empresas perceberam que deveriam administrar tanto os seus processos internos, quanto as suas operações externas, para, assim, melhorar suas condições de competitividade (CHRISTOPHER, 2013; LAMBERT; COOPER, 2000; LAMBERT; COOPER; PAGH, 1998).

Em outras palavras, as organizações compreenderam que deveriam reduzir os custos vinculados aos processos que ocorrem ao longo da cadeia de suprimentos, de modo a garantir seu retorno. Além disso, ficou evidente que era possível se diferenciar dos concorrentes, atendendo às necessidades dos consumidores em relação à qualidade, flexibilidade, velocidade, custo e confiabilidade, por meio de uma gestão eficaz e eficiente da cadeia (CHRISTOPHER, 2013).

Nesse contexto, a gestão da cadeia de suprimentos (GCS) ganhou importância, tornando-se estratégica para as empresas de porte mundial. No entanto, mesmo satisfazendo diferenciais de desempenho, o conceito de GCS precisa ser aprimorado para atender aspectos socioambientais, que, nos últimos tempos, adquiriram relevância dentro das organizações.

Em suma, a busca somente pela otimização de processos, tanto internos como externos, mostrou-se uma abordagem incompleta, uma vez que ela desconsiderava os impactos ambientais e sociais dos sistemas produtivos e, conseqüentemente, das cadeias de suprimentos.

A questão ambiental vem sendo discutida em diferentes esferas ao longo da segunda metade do século XX. Inicialmente, o debate centralizou-se em problemas relacionados com o modelo de desenvolvimento praticado pelos países considerados

desenvolvidos (DIAS; TOSTES, 2011; DIAS, 2004); todavia, este escopo logo se expandiu, alcançando o ambiente empresarial como um todo.

A princípio, a maioria das empresas relutou em modificar seus processos produtivos para atender às demandas ambientais (BRAGA JR *et al.*, 2001). Entretanto, esse posicionamento logo se modificou e as organizações assumiram uma postura proativa em relação às questões desta natureza, uma vez que perceberam que os aspectos ambientais poderiam ser diferenciais em um mercado extremamente concorrido (ASHLEY, 2005).

Considerando tais percepções, muitas empresas começaram a utilizar as ações relacionadas à preservação ambiental como possíveis fontes de vantagem competitiva. Dessa forma, diversos procedimentos foram desenvolvidos, tais como a gestão da qualidade ambiental total, a produção mais limpa, as séries de normas ISO 14.000 e 26.000, etc. Apesar do foco inicial ser interno, elas não se restringiram apenas às suas fronteiras e, assim, foram desenvolvidos os conceitos de logística reversa e de gestão da cadeia de suprimentos verde.

O conceito de gestão da cadeia de suprimentos verde prega que os membros da CS devem atuar não somente na dimensão econômica, mas também nos aspectos sociais e ambientais, modificando o modo como é feito o fluxo de produção, informação e monetário (SANTA-EULALIA *et al.*, 2010).

Assim, os aspectos ambientais passariam a ser considerados não só na administração das empresas, como também na gestão da cadeia de suprimentos; até por isso, o gerenciamento de gases do efeito estufa (GEE) ganhou importância, pois passou-se a considerar a relevância econômica e ambiental advinda deste processo, uma vez que estes gases podem ser comercializados no mercado de carbono (GHG PROTOCOL, 2014; BVRIO, 2013; SANTOS, 2001).

Existem diversas metodologias para medir a emissão de GEE. Para a elaboração desta pesquisa as que mais se destacam são aquelas que consideram e estimam a emissão de toda a cadeia de suprimentos, desde o ponto de origem até a entrega do produto ao consumidor final. Entretanto, entende-se que tais metodologias enfrentam dificuldades para serem colocadas em prática, devido, entre outras coisas, à falta de consciência de muitas organizações, que ainda não conseguem

compreender que o resultado coletivo, seja ele de lucratividade ou de emissão de gases, é tão importante quanto o individual (CHOPRA; MEINDL, 2011).

Partindo dessa problemática, este trabalho de pesquisa tem, como objetivo geral, desenvolver uma metodologia de análise e redução da emissão de GEE em uma cadeia de suprimentos, por meio da aplicação das tecnologias de informação e da automação.

O desenvolvimento desta metodologia baseia-se e complementa outras já existentes, apresentando-se como um método eficaz e responsável que pode ser empregado como uma ferramenta de engenharia e de auxílio na tomada de decisão.

Nesse sentido, os objetivos específicos são:

- a) Analisar o conceito de cadeia de suprimentos, verificando a sua atual relevância para a competitividade das empresas;
- b) Verificar a evolução do conceito de sustentabilidade, analisando a sua abrangência atual, tanto para a sociedade, quanto para as empresas. Também pretende-se averiguar a importância do gerenciamento de emissão de gases de efeito estufa, bem como as características do mercado de carbono;
- c) Verificar a efetividade da metodologia proposta, por meio de sua aplicação em uma cadeia de suprimentos de etanol.

Pelos objetivos a serem alcançados e pela abordagem adotada, a metodologia utilizada para a elaboração do trabalho pode ser classificada como quantitativa e exploratória, cujo objetivo principal abrange a busca por um conhecimento profundo sobre os temas abordados, por meio da criação e teste de uma hipótese a seu respeito. Também pode ser considerada como experimental, pois uma metodologia será desenvolvida e avaliada em uma cadeia de suprimentos (GIL, 2002).

De acordo com Sampieri, Collado e Lucio (2006, p. 157), a pesquisa experimental refere-se a

[...] um estudo em que se manipulam intencionalmente uma ou mais variáveis independentes, para analisar as conseqüências da manipulação sobre uma ou mais variáveis dependentes, dentro de uma situação de controle do pesquisador.

Levando-se em conta os procedimentos técnicos utilizados, este estudo enquadra-se também como pesquisa bibliográfica, em que são levantados e analisados livros e artigos científicos sobre assuntos centrais para o trabalho, como: cadeia de suprimentos, sustentabilidade, emissão de gases de efeito estufa.

A apresentação deste estudo está organizada em 7 partes distintas.

A introdução do trabalho expõe o problema levantado, a justificativa da pesquisa e os objetivos do estudo realizado.

No capítulo 1 é abordado o tema da sustentabilidade, apresentando a sua evolução histórica, juntamente com os principais conceitos relacionados ao tópico, e discorrendo sobre sua atual relevância para as empresas.

No capítulo 2 mencionam-se os conceitos de cadeia de suprimentos e de sua gestão. Inicialmente, discute-se a importância, a complexidade e as diferentes estruturas de uma CS. Na sequência, debate-se sobre a relevância da GCS e da administração dos relacionamentos entre empresas. Por fim, expõe-se como a CS tornou-se uma fonte de vantagem competitiva para as empresas, além de apresentar como a sustentabilidade vem influenciando a administração da CS.

O capítulo 3 aprofunda-se no mercado de carbono e nas principais metodologias já existentes de gerenciamento de emissão de gases de efeito estufa.

No capítulo 4 é apresentada a metodologia de redução da emissão de gases de efeito estufa, que foi aplicada e avaliada em uma cadeia de suprimentos no capítulo 5. Nesta parte, também são expostos e debatidos os resultados alcançados.

Finalmente, no capítulo 6 são expostas as conclusões do estudo, juntamente com sugestões para futuras pesquisas.

1. A SUSTENTABILIDADE E SEUS IMPACTOS NA COMPETITIVIDADE EMPRESARIAL

Este capítulo aborda o conceito de sustentabilidade, expondo sua atual importância para as organizações. Ele engloba tópicos como: a evolução histórica do tema ao longo da última metade do século XX; os diferentes conceitos e abrangências relacionados ao assunto; a importância da gestão socioambiental para as empresas e as diferentes práticas sustentáveis utilizadas pelas companhias.

1.1 Sustentabilidade: conceitos e abrangências

A sustentabilidade é, atualmente, um dos temas que mais vêm despertando atenção da sociedade. A proeminência do tópico, todavia, não é fruto, na maioria dos casos, meramente de uma preocupação proativa com o meio ambiente, mas é devida aos problemas socioambientais enfrentados, tais como: a degradação dos recursos naturais, a poluição e escassez da água, a destruição da camada de ozônio, o aquecimento global e o desflorestamento (ALMEIDA, 2007; BRAGA JR. *et al.*, 2005).

Assim, a questão da sustentabilidade acabou por despertar o interesse de várias esferas da sociedade, estimulando o debate e o desenvolvimento de diversos conceitos e abordagens relacionados ao tema (VAN BELLEN, 2005).

Resumidamente, entende-se que a sustentabilidade envolve:

[...] uma dimensão política, social, cultural e biológica e que exige uma extensiva produção e difusão de conhecimentos e de princípios ético-políticos nos espaços das práticas cotidianas (REIGOTA, 2007, p. 222).

Percebe-se, dessa forma, que a sustentabilidade é um conceito multifacetado, que envolve tanto aspectos ambientais relacionados com o ecossistema, quanto aspectos sociais vinculados com a sociedade (SÁNCHEZ, 2008).

Gerardi e Mendes (2002) corroboram com tal visão. Segundo essas autoras, todas as visões a respeito do tema argumentam a favor de um modelo harmônico de desenvolvimento social, econômico e ambiental.

Na literatura existem diversas abordagens para a sustentabilidade. Para este estudo, os conceitos mais relevantes são os do ecodesenvolvimento e o do desenvolvimento sustentável, que serão explorados na sequência.

1.1.1 Ecodesenvolvimento

Em 1972 ocorreu em Estocolmo, na Suécia, um dos mais proeminentes encontros que abordaram o tema socioambiental: a Conferência Mundial sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente, também conhecida como ECO-72. Essa conferência foi o berço de um dos conceitos mais relevantes para a sustentabilidade: o ecodesenvolvimento (DIAS; TOSTES, 2011; MONTIBELLER FILHO, 1993; LAYRARGUES, 1997).

Introduzido por Maurice Strong, Secretário Geral da conferência, o conceito ganhou destaque por meio do estudioso Ignacy Sachs (MONTIBELLER FILHO, 1993; LAYRARGUES, 1997), que, devido à crise das teorias de desenvolvimento, defendia uma abordagem multifacetada, unindo aspectos econômicos, sociais, antropológicos e ecológicos (GERARDI; MENDES, 2002).

Inicialmente, esse conceito referia-se às áreas rurais, apontando as diferenças entre regiões muito e pouco desenvolvidas; ou seja, o tópico baseava-se em uma crítica ao método de desenvolvimento praticado (BRÜSEKE, 2001).

Gerardi e Mendes (2002) mencionam que a ideia defendida por Sachs era moderada, uma vez que não era a favor nem de um crescimento desenfreado e nem de um ecologismo abusivo.

De um modo geral, o conceito de ecodesenvolvimento representa:

uma abordagem ao desenvolvimento cujo horizonte temporal coloca-se a décadas ou mesmo séculos adiante. Entende que a satisfação das necessidades das gerações futuras deve ser garantida, isto é, deve haver uma solidariedade diacrônica sem, que no entanto, comprometa a solidariedade sincrônica com a geração presente, já por demais sacrificada pelas disparidades sociais da atualidade (LAYRARGUES, 1997, p.08).

Percebe-se, então, que esse conceito baseava-se na ideia de que a sociedade deveria utilizar um modelo de desenvolvimento que garantisse uma equidade social e um equilíbrio ambiental, tanto para a geração atual, quanto para a futura (LAYRARGUES, 1997; MONTIBELLER FILHO, 1993).

Layrargues (1997) pondera que o modelo de desenvolvimento pode ser tanto um desenvolvimento negativo, quanto um desenvolvimento positivo. Nesse contexto, o homem tem papel central no modelo praticado, exercendo a função de transformador das estruturas econômicas, sociais, culturais e políticas (GERARDI; MENDES, 2002).

Todavia, para que a prática do ecodesenvolvimento aconteça, há que se respeitar quatro premissas básicas: a) as mudanças ocorrerão em longo prazo; b) devem ocorrer mudanças no estilo de vida da sociedade; c) os países tecnológicos devem assumir os custos de transição; d) deve haver capacidade para mudar o modelo tecnológico existente (GERARDI; MENDES, 2002).

Também nesse sentido, Nogueira e Chaves (2005) e Gerardi e Mendes (2002) apresentam os princípios ligados ao ecodesenvolvimento. Segundo os autores, existe a necessidade de: a) atender, solidariamente, às necessidades da geração atual; b) solidarizar-se com as gerações futuras; c) envolver a sociedade no desenvolvimento praticado; d) preservar o meio ambiente; e) construir um sistema social que garanta emprego e educação.

Em suma, o conceito de ecodesenvolvimento, baseado nos princípios acima, busca auxiliar a organização das populações, construindo um modelo de desenvolvimento que considere aspectos econômicos, sociais, ambientais, culturais e geográficos (GERARDI; MENDES, 2002).

Layrargues (1997) corrobora com essa versão. De acordo com o autor, o conceito defende que não se pode, apenas, considerar o escopo econômico do desenvolvimento, mas deve-se também, ponderar sobre as culturas, os ecossistemas e as pessoas.

A Tabela 1 expõe as dimensões do ecodesenvolvimento, analisando os objetivos de cada aspecto.

Tabela 1 - As dimensões do ecodesenvolvimento

Dimensão	Características	Objetivo
Sustentabilidade Social	<ul style="list-style-type: none"> • Criação de postos de trabalho que permitam renda individual adequada, melhor condição de vida e melhor qualificação profissional. • Produção de bens dirigida, prioritariamente, às necessidades básicas sociais. 	Redução das Desigualdades Sociais
Sustentabilidade Econômica	<ul style="list-style-type: none"> • Fluxo permanente de investimentos públicos e privados. • Manejo eficiente dos recursos. • Absorção pela empresa dos custos ambientais. • Endogeneização: contar com suas próprias forças. 	Aumento da produção e da riqueza social, sem dependência externa.
Sustentabilidade Ecológica	<ul style="list-style-type: none"> • Produção com respeito aos ciclos ecológicos dos ecossistemas. • Prudência no uso de recursos não renováveis. • Prioridade à produção de biomassa e à industrialização de insumos naturais renováveis. • Redução da intensidade energética e conservação de energia. • Tecnologias e processos produtivos. • Cuidados ambientais. 	Atenção à qualidade do meio ambiente e preservação das fontes de recursos energéticos e naturais para próximas gerações.
Sustentabilidade Espacial	<ul style="list-style-type: none"> • Descentralização espacial (de atividade, de população). • Desconcentração: democratização local e regional do poder. • Relação equilibrada entre cidade-campo, com benefícios para ambos. 	Evitar o excesso de aglomerações.
Sustentabilidade Cultural	<ul style="list-style-type: none"> • Soluções adaptadas a cada ecossistema. • Respeito à formação cultural comunitária. 	Evitar conflitos culturais com potencial de eclosão

Fonte: Montibeller Filho, 1993.

De um modo geral, o conceito de ecodesenvolvimento cunhado naquele momento propunha um modelo de desenvolvimento que visava melhorar as condições de vida das populações, respeitando os limites do meio ambiente.

Brüseke (2001) aponta que as discussões acerca deste tópico serviram de base para a criação do conceito de desenvolvimento sustentável, que é, hoje, o mais utilizado para se debater o tema do meio ambiente. Nesse sentido, muitos autores, inclusive Sachs - maior defensor do termo ecodesenvolvimento -, passaram a utilizar ambos como sinônimos.

Na sequência deste estudo é analisada a abordagem e o escopo do conceito de desenvolvimento sustentável.

1.1.2 Desenvolvimento Sustentável

Os conceitos que abordam o tema da sustentabilidade, em sua grande maioria, questionam o modelo de desenvolvimento adotado pelas sociedades atuais. De uma maneira geral, eles apontam que o modelo praticado no século XX, caracterizado pelo materialismo, individualismo e competitividade é o principal responsável pelos problemas ambientais enfrentados (DIAS; TOSTES, 2011; SCOTTO; CARVALHO; GUIMARÃES, 2007; DIAS, 2004).

Também questionando o modelo de desenvolvimento praticado até então, surgiu, no final do último século, o conceito de desenvolvimento sustentável (DS), que procurava orientar a sociedade para os desafios presentes e futuros (BUARQUE, 2008).

De acordo com Buarque (2008, p. 58):

O desenvolvimento sustentável se difunde como uma proposta de desenvolvimento diferenciada e, ao mesmo tempo, torna-se uma alternativa viável e não mais apenas uma utopia ou fantasia organizada pela sociedade, precisamente pelas condições do paradigma de desenvolvimento emergente, principalmente os avanços científicos e tecnológicos.

Buarque (2008) ainda menciona que o DS baseia-se em duas solidariedades: a sincrônica, que atenta para as necessidades e o bem-estar da geração atual, e a diacrônica, que considera as demandas das sociedades futuras.

O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu na década de 1980; todavia, existe uma divergência na literatura quanto à sua gênese. Montibeller Filho (1993), por exemplo, cita que a origem do termo ocorreu em 1986, durante a Conferência Mundial sobre a Conservação e o Desenvolvimento promovida pela *Union for Conservation Nature* (IUCN). Já Barbieri (2002) aponta que a nomenclatura apareceu, pela primeira vez, em um documento publicado pela instituição *World Wildlife Fund* (WWF), que se denominava *World Conservation Strategy*.

A despeito da origem, existe um consenso de que o conceito ganhou notoriedade por meio do relatório *Nosso Futuro Comum* (BARBIERI, 2002). Este foi o documento mais relevante publicado pela Comissão Mundial do Desenvolvimento e Meio Ambiente (CMMAD), também conhecida como Comissão de Brundtland, em homenagem à primeira ministra norueguesa Gro Harlem Brundtland, que coordenou essa comissão (BRAGA JR. *et al.*, 2005; BARBIERI, 2002).

De acordo com Barbieri (2002), essa comissão foi criada em 1983 por meio de uma deliberação da Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU), sendo constituída por 23 países membros. Entre os anos de 1985 e 1987, tal grupo realizou diversos encontros e publicou mais de 75 relatórios que abordavam a questão ambiental.

Em suma, o relatório de Brundtland definia o desenvolvimento sustentável como:

aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades. Ele contém dois conceitos-chave: o conceito de “necessidades”, sobretudo as necessidades essenciais dos pobres do mundo, que devem receber a máxima prioridade; a noção das limitações que o estágio da tecnologia e da organização social impõe ao meio ambiente, impedindo-o de atender às necessidades presentes e futuras (CMMAD, 1991, p. 46).

Dias e Tostes (2011) apontam que, segundo o relatório *Nosso Futuro Comum*, para alcançar o DS era necessário: a) cooperação entre as nações; b) expansão de mercado; c) avanço das tecnologias usadas no sistema produtivo.

Na literatura ainda é possível encontrar diversas definições a respeito do conceito de desenvolvimento sustentável. Essa grande quantidade de referências faz com que seu entendimento não seja consensual, o que pode atrapalhar em sua aplicabilidade (MAWHINNEY, 2005).

A Tabela 2 apresenta diversas definições do conceito em questão e também os objetivos gerais de cada uma delas.

Tabela 2 - As diferentes definições do conceito de desenvolvimento sustentável

Origem	Definição	Objetivos Gerais
Brundtland	Aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades.	Desenvolvimento apenas com o mínimo de dano ambiental.
<i>National Strategies for Sustainable Development (2000)</i>	Desenvolvimento econômico e social que provê as necessidades da geração atual sem solapar a capacidade das futuras gerações de prover suas próprias necessidades	Semelhante ao de Brundtland, mas objetivos mais definidos.
<i>Department of Environment, Transport and Regions</i>	Progresso social que reconhece as necessidades de todos. Proteção efetiva do meio ambiente. Uso prudente dos recursos naturais. Manutenção de um crescimento econômico e do emprego elevado e estável.	Equilíbrio de interesses
Wackernagel & Rees (1996)	A necessidade do ser humano de viver em condições de igualdade com recursos naturais.	Reconhece que os recursos são limitados e devem ser usados de um modo equitativo.
Pearce et al. (1990)	As condições necessárias para um acesso equitativo aos recursos disponíveis devem suprir as necessidades de todas as gerações.	Reconhece que os recursos são limitados e devem ser usados de um modo equitativo entre gerações.

Fonte: Mawhinney, 2005.

Analisando os conceitos expostos na Tabela 2, percebe-se que as definições apresentadas possuem aspectos em comum, tais como: a preocupação com as

gerações futuras e atuais; a existência de um limite para o uso dos recursos naturais e a necessidade de equilibrar os interesses entre as diferentes povos e camadas da sociedade.

Nascimento (2008), analisando sob duas óticas diferentes, uma mais abrangente e outra mais restrita, aponta que o conceito de desenvolvimento sustentável objetiva equilibrar a relação entre o Homem e o meio ambiente. Para tanto, devem ocorrer mudanças nos sistemas políticos, econômicos, sociais, produtivos e tecnológicos.

Considerando as definições apresentadas, juntamente com os seus objetivos, este estudo considera que o desenvolvimento sustentável envolve o relacionamento e a integração de três áreas: a econômica, a ambiental e a social (IUCN, 2006).

Em outras palavras, entende-se que este desenvolvimento envolve o progresso da sociedade; todavia, este deve compatibilizar o crescimento e a eficiência econômica, o equilíbrio ambiental e a equidade social (BUARQUE, 2008). Em suma, o DS é:

um processo e uma meta a ser alcançada a médio e longo prazo, gerando uma reorientação do estilo de desenvolvimento, redefinindo a base estrutural de organização da economia, da sociedade e de suas relações com o meio ambiental natural (BUARQUE, 2008, p. 68).

Este posicionamento também é defendido por Elkington (1997) no artigo *“Cannibals with forks: the triple bottom line of the 21st century business”*, o qual apontava a ecologia, a igualdade social e a economia como as dimensões centrais do conceito (ZÜGE, 2014).

A Figura 1 expõe as três dimensões da sustentabilidade e os relacionamentos entre elas.

Figura 1 - As dimensões do desenvolvimento sustentável

Fonte: Adaptado de Buarque, 2008.

Na literatura ainda é possível encontrar outras obras que acrescentam outras dimensões às três apontadas por Elkinton (1997). Züge (2014) menciona que, tanto o *International Institute for Environment and Development* quanto o *World Business Council for Sustainable Development* (2002) consideram que o DS possui quatro dimensões: econômica, social, ambiental e governança (TABELA 3).

Tabela 3 - Princípios do desenvolvimento sustentável

Esfera	Objetivos
Econômica	Maximizar o bem-estar do homem
	Assegurar o uso eficiente dos recursos, naturais ou não.
	Procurar identificar e internalizar custos ambientais e sociais.
	Manter e aprimorar condição para viabilizar a empresa.
Social	Assegurar distribuição justa dos custos e benefícios de desenvolvimento.
	Respeitar e reforçar os direitos fundamentais dos seres humanos.
	Procurar manter as melhorias ao longo do tempo; assegurar que o esgotamento dos recursos naturais não irá privar as gerações futuras.
Ambiental	Promover a gestão responsável dos recursos naturais e do meio ambiente, incluindo remediação de danos passados.
	Minimizar o desperdício e danos ambientais ao longo de toda a cadeia de abastecimento.
	Ter exercício de prudência onde os impactos são desconhecidos ou incertos.
	Operar dentro de limites ecológicos e proteger o capital natural crítico.
Governança	Dar suporte à democracia representativa, incluindo tomada de decisão participativa.
	Estimular a livre iniciativa dentro de um sistema de regras claras e justas e incentivos.
	Evitar excessiva concentração de poder.
	Assegurar a transparência por meio da prestação de contas a todos os interessados, com acesso às informações relevantes e precisas.
	Garantir a responsabilização pelas decisões e ações, que são baseadas em uma análise abrangente e confiável.
	Incentivar a cooperação, a fim de construir a confiança, atingir os objetivos e manter valores comuns.
	Assegurar que as decisões sejam tomadas no nível hierárquico adequado dentro da empresa

Fonte: *International Institute for Environment and Development apud Züge, 2014.*

É importante ressaltar que o conceito de DS difundiu-se, mas somente foi consolidado a partir da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o

Desenvolvimento (CNUMAD), na qual foi incorporado na Agenda 21¹ (JABBOUR; SANTOS, 2011).

Diferentemente do ecodesenvolvimento, principal conceito relacionado ao tema da sustentabilidade até então, a concepção do desenvolvimento sustentável consolidou-se por defender que era possível minimizar o impacto socioambiental e, ao mesmo tempo, sustentar o crescimento econômico. Para tanto, porém, deveriam ser feitas modificações principalmente nos planejamentos estratégicos e nos sistemas produtivos das organizações para, assim, garantir o uso adequado dos recursos naturais (LAYRARGUES, 1997).

Entretanto, cabe mencionar que o DS também sofreu críticas, que, de um modo mais genérico, mencionavam que tal ideia era muito abstrata, o que afetava sua aplicabilidade (NEVES; KLEINMAYER; TOCACH, 2007).

Outro ponto constantemente criticado é o fato de o conceito basear-se na ideia de que o padrão de consumo seria constante, tendo o seu impacto minimizado pelo aperfeiçoamento de tecnologias e pela eficiência do uso de recursos naturais. Todavia, tal percepção praticamente desconsiderava o crescimento vegetativo das populações e o eventual desenvolvimento dos antigos países subdesenvolvidos, entre outros aspectos (MONTIBELLER FILHO, 1993).

Apesar das críticas, o conceito de desenvolvimento sustentável é a principal referência quando o assunto é sustentabilidade (BRÜSEKE, 2001). Neste sentido, sua criação é um marco para o tema ambiental, pois atraiu novas camadas da sociedade para essa discussão.

Na sequência deste estudo será abordada a evolução histórica do conceito da sustentabilidade.

¹ Documento que expunha os compromissos dos países participantes da conferência a respeito dos problemas socioambientais (SANTOS, 2011).

1.2 Evolução histórica do conceito da Sustentabilidade e das práticas sustentáveis

Apesar de estar em foco nos dias atuais, a sustentabilidade não é um tema recente. Algumas obras como as de Dias (2004) e da Academia Pearson (2011) apontam que os primeiros questionamentos sobre a degradação ambiental são datados do período da 1ª Revolução Industrial. Os autores mencionam que, em tal época, por meio de Patrick Geddes, iniciaram-se os debates sobre os impactos do crescimento econômico e da urbanização.

Dessa forma:

a Revolução Industrial foi um divisor de águas na história da humanidade. Ela transformou artesãos em proletários, ambientes domesticados em artificiais, subsistência em salário, imprimindo uma drástica mudança social. Além das transformações socioeconômicas, a Revolução Industrial também intensificou problemas ambientais, acelerando a extração dos recursos naturais (ACADEMIA PEARSON, 2011, p. 21).

Embora a discussão acerca dos problemas ambientais tenha sido iniciada no século XVIII, as práticas sustentáveis desta época tiveram pouco impacto no ecossistema, que continuou a ser deteriorado (ACADEMIA PEARSON, 2011).

Souza (2005) corrobora com esta afirmação. Segundo a autora, durante séculos, a sociedade priorizou um modelo de desenvolvimento, que, praticamente, não considerava os impactos sociais e ambientais. Assim, a eventual destruição do ecossistema era considerada como um “mal necessário”.

Seguindo a mesma linha de pensamento, Dias (2004) e Dias e Tostes (2011) explicam que o modelo de desenvolvimento utilizado era o principal causador dos problemas ambientais. Resumidamente, tal modelo baseava-se, principalmente, no consumo, alimentado por um sistema produtivo que não considerava o impacto ambiental.

É importante salientar que, para esta pesquisa, crescimento não é, necessariamente, sinônimo de desenvolvimento e progresso, por serem considerados, aqui, os aspectos econômicos, sociais e ambientais.

Mesmo sem precisão de datas, pode-se dizer que os problemas ambientais ganharam notoriedade no período pós Segunda Guerra Mundial. Barbieri (2002, p. 17) expõe que, após tal evento, houve um crescimento econômico acelerado nos países participantes do conflito, caracterizado por “ultrapassar as fronteiras nacionais e, portanto, escapar das ações dos governos locais e nacionais”.

Todavia, apesar do aumento significativo dos problemas ambientais no período imediatamente posterior à Segunda Guerra, a preocupação com o meio ambiente só passou a se manifestar no final da década de 1960 e início da década de 1970, quando o tema passou a ser debatido, principalmente, pelo Clube de Roma e pela Conferência Mundial sobre o Desenvolvimento e Meio Ambiente (ANDRADE, 1997).

Segundo Gonçalves (2005), é possível afirmar que o marco inicial para a discussão sobre a sustentabilidade se deu em 1968. Nesse ano houve um protesto em escala mundial - atingindo Paris, Berlim, Berkeley e Rio de Janeiro - contra o modelo de desenvolvimento capitalista baseado no consumo. Ainda no mesmo ano, foi criado o Clube de Roma, entidade formada por cientistas e políticos, o qual objetivava debater o uso desregrado de recursos naturais (LOURENÇO; CHIARAMONTI, 2013).

Souza (2005), por sua vez, discorda de tal data como marco inicial. De acordo com a autora, os debates relacionados com a sustentabilidade iniciaram-se em 1969, quando os Estados Unidos da América promoveram uma ação regulamentadora sobre o meio ambiente.

Independentemente de qual seja o marco inicial, as discussões a respeito da sustentabilidade aumentaram a partir da década de 1970, fazendo com que o conceito evoluísse e ganhasse nova abrangência.

De um modo geral, é possível analisar a evolução do tópico de sustentabilidade a partir de duas óticas, que estão diretamente correlacionadas. A primeira é baseada na evolução do conceito nas diferentes conferências que debateram sua abrangência. A segunda baseia-se na conscientização ambiental dos atores globais, principalmente das empresas. Nesse sentido, o desenvolvimento do tema dá-se a partir das mudanças sobre o modo como os governos, as organizações e a sociedade enxergam os problemas ambientais.

A primeira perspectiva evolutiva é constituída por diversos marcos importantes. Amato Neto (2011a) expõe que, ao longo das últimas décadas, aconteceram diversos encontros, conferências e fóruns internacionais com o objetivo de estabelecer tratados e diretrizes relacionadas com a sustentabilidade, os quais deveriam ser adotados pelos países.

O primeiro desses marcos foi a publicação feita pelo Clube de Roma de um estudo denominado “Os limites do crescimento” que, de acordo com Brüseke (2001) pontuava três aspectos:

- a) O meio ambiente ficaria exaurido em cerca de cem anos, caso o modelo de desenvolvimento praticado até então continuasse em vigor;
- b) O futuro poderia ser modificado, garantindo, assim, que todas as pessoas tivessem suas necessidades atendidas em um estado de “equilíbrio global”;
- c) A sociedade deveria procurar tal estado de “equilíbrio global” o mais rápido possível.

Segundo a Academia Pearson (2011) e Brüseke (2001), o estudo propunha a paralisação do crescimento econômico, a partir do congelamento da produção e da indústria, como a única alternativa para que a sociedade alcançasse o estado de “equilíbrio global”, em que as necessidades de todas as pessoas seriam atendidas.

Meadows (s/d *apud* Foladori, 2001, p. 151) menciona:

Se mantiverem as atuais tendências de crescimento da população mundial, industrialização, contaminação ambiental, produção de alimentos e esgotamento de recursos, este planeta alcançará os limites de crescimento no curso dos próximos cem anos. O resultado mais provável será um súbito e incontrolável declínio tanto da população como da capacidade industrial.

Em uma visão mais específica, Souza (2005) expõe que tal estudo relacionava o esgotamento de recursos naturais com aspectos como o crescimento econômico e o aumento exponencial da população. Assim, o documento propunha um “limite” para

tais aspectos, estabelecendo que, caso isto não fosse feito, a sociedade entraria em declínio incontável.

Tal argumentação sofreu diversas críticas, principalmente aquelas advindas de países até então considerados subdesenvolvidos, que viam tal proposta como uma forma de os países ricos impedirem o seu crescimento (MONTIBELLER FILHO, 1993).

Apesar das diferentes críticas, a elaboração desse documento é um marco central para a evolução do conceito de sustentabilidade, uma vez que ele colaborou para que a questão ambiental passasse a ser debatida por diversos países. Isto fez com que a Organização das Nações Unidas (ONU) convocasse uma conferência global para tratar dos problemas ambientais (ACADEMIA PEARSON, 2011; NASCIMENTO, 2008).

Esse encontro foi realizado em 1972 em Estocolmo, na Suécia, e ficou conhecido como Conferência Mundial sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente (DIAS; TOSTES, 2011).

Segundo a Academia Pearson (2011, p. 24):

A Conferência de Estocolmo representou uma verdadeira ruptura com as visões tradicionais de meio ambiente. Seu impacto foi tão grande que é comum dividir a evolução do debate ambiental em antes e depois de Estocolmo.

A Conferência debateu sobre o conflito de interesses entre países desenvolvidos e subdesenvolvidos. Além disso, também foi discutida a necessidade da criação de um órgão internacional que debatesse e orientasse as autoridades dos países em relação às questões ambientais. Nesse contexto, nasce o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (AMATO NETO, 2011a; BARBIERI, 2002; ANDRADE, 1997).

Souza (2005) menciona que, deste encontro, resultaram diversos compromissos entre as nações. Entretanto, a autora critica o caráter pontual das ações tomadas, centradas somente no período em curso, deixando de abordar assuntos relacionados com a diminuição dos problemas ambientais futuros.

Após a conferência aconteceram outros encontros; todavia, o mais marcante para a evolução do conceito de Sustentabilidade foi a reunião da Comissão Mundial

sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) ocorrida em 1983 (AMATO NETO, 2011a).

Essa Comissão objetivava o estabelecimento de estratégias que considerassem aspectos sociais, ambientais e econômicos. Além disso, ela também tinha, como meta, a criação de acordos de cooperações entre países, visando que as nações desenvolvidas ajudassem as subdesenvolvidas, principalmente quanto ao encaminhamento de problemas sociais (BARBIERI, 2002).

O principal resultado dessa Comissão foi a publicação do relatório “Nosso Futuro em Comum”, também conhecido como Relatório de Brundtland, que nominava o conceito de desenvolvimento sustentável, o mais apreciado até hoje por acadêmicos para falar do assunto no trato da sustentabilidade.

Após estas conferências, já na década de 1990, aconteceram outros encontros; entre eles destacam-se: a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), conhecida também como ECO-92, que culminou na publicação da Agenda 21, documento que deu notoriedade ao conceito de desenvolvimento sustentável e que abordava a implementação de atividades e o estabelecimento de objetivos e metas para combater os principais problemas socioambientais da época (AMATO NETO, 2011a; NASCIMENTO, 2008; SANTOS, 2001); a 3ª Conferência das Partes (COP-3), realizada em Kyoto no ano de 1997, cujo principal resultado foi a elaboração do protocolo de Kyoto, que objetivava a redução das emissões de gases de efeito estufa em, pelo menos, 5,2% dos níveis medidos em 1990 (SANTIN, 2007; DOMINGOS, 2007).

Amato Neto (2011a) ratifica a importância desse encontro para a discussão dos problemas ambientais e dos papéis das nações frente aos mesmos. De acordo com o autor, o protocolo foi assinado em 1998, entrando em vigor somente em 2005.

A Tabela 4 expõe alguns dos países que assinaram o tratado de Kyoto. No total foram 55 nações que se comprometeram a reduzir 55% das emissões de gases de efeito estufa do planeta (CENAMO, 2004; SANTIN, 2007).

Tabela 4 - Emissões de gases de efeito estufa dos países participantes do protocolo de Kyoto

Países	Emissões em 1000 t.	Participação percentual	Países	Emissões em 1000 t.	Participação percentual
Estados Unidos da América	4.957.022	36.11%	Hungria	71.673	0.52%
Federação Russa	2.388.720	17.40%	Suécia	61.256	0.45%
Japão	1.173.360	8.55%	Áustria	59.200	0.43%
Alemanha	1.012.443	7.37%	Eslováquia	58.278	0.42%
Reino Unido	584.078	4.25%	Finlândia	53.900	0.39%
Canadá	457.441	3.33%	Dinamarca	52.100	0.38%
Itália	428.941	3.12%	Suíça	43600	0.32%
Polônia	414.930	3.02%	Portugal	42.148	0.31%
França	366.536	2.67%	Estônia	37.797	0.28%
Austrália	288.965	2.10%	Noruega	35.533	0.26%
Espanha	260.654	1.90%	Irlanda	30.719	0.22%
Romênia	171.103	1.25%	Nova Zelândia	25.530	0.19%
República Checa	169.514	1.23%	Letônia	22.976	0.17%
Países Baixos	167.600	1.22%	Luxemburgo	11.343	0.08%
Bélgica	113.405	0.83%	Islândia	2.172	0.02%
Bulgária	82.990	0.60%	Liechtenstein	208	0.00%
Grécia	82.100	0.60%	Mônaco	71	0.00%

Fonte: protocolo de Kyoto, 1997 *apud* Santin, 2007.

Atualmente, o protocolo de Kyoto possui 192 países associados a ele, incluindo o Brasil que ratificou o documento em agosto de 2002 por meio do decreto legislativo nº 144 (MARCATTO; LIMA, 2012).

Já na década de 2000, de acordo com Amato Neto (2011a), ocorreram outras quatro conferências:

- a) em 2002 aconteceu a RIO + 10 em Johanesburgo, que tinha, como objetivo, verificar se as metas da Agenda 21 estavam sendo alcançadas;

- b) a COP - 13 realizada em Bali em 2007, focada na redução dos gases de efeito estufa;
- c) a Conferência Climática de Copenhague, que tinha, como fim, a criação de um novo tratado para substituir o protocolo de Kyoto;
- d) a COP - 15, cuja finalidade era estabelecer acordos para limitar o aquecimento global.

É possível observar que, ao longo das últimas 4 décadas, aconteceram diversas conferências versando sobre o meio ambiente. Nota-se que a frequência de tais encontros tem aumentado, isso porque, mesmo com essas reuniões, os problemas ambientais vêm crescendo.

Nesse sentido, cabe ressaltar que os problemas ambientais e, consequentemente, a sustentabilidade, só serão realmente considerados relevantes quando todos os diferentes atores globais, inclusive as empresas, passarem a tomar medidas a respeito dos impactos causados por eles no ecossistema.

De acordo com Backer (1995) e Braga Jr. *et al.* (2005), o conceito de sustentabilidade só passará a se destacar quando as empresas notarem que, por meio da adoção de práticas sustentáveis, é possível agregar valor e, consequentemente, aumentar, direta ou indiretamente, sua lucratividade.

Jabbour e Santos (2011) apontam que a questão da sustentabilidade vem ganhando relevância para as empresas ao longo dos anos. No entanto, a inserção da variável ambiental em suas práticas e sistemas produtivos varia de acordo com os interesses de cada organização. De acordo com os autores acima citados, essa inclusão varia “seja porque a consideração da variável ecológica está associada à natureza do negócio da empresa, seja porque depende do grau de conscientização da alta administração”.

Jabbour e Santos (2011) ainda apontam que tal heterogeneidade impacta diretamente as pesquisas do mundo acadêmico, que enxergam a conscientização ambiental de maneiras diferentes. Considerando isto, os autores analisam seis diferentes visões, que estão expostas na Tabela 5.

Tabela 5 - Diferentes perspectivas da evolução da variável ambiental para as empresas

Autor (Ano)	Número de Estágios	Nome dos Estágios	Características
Maimon (1994)	3 estágios	Abordagem Reativa	A empresa adequava-se às regulamentações ambientais com a compra e o uso de tecnologias e equipamentos de fim de processo (<i>end of pipe</i>).
		Abordagem Preventiva	Com objetivo de prevenir problemas ambientais, as empresas começam a introduzir ferramentas ambientais, modificando, assim, seus processos e produtos.
		Abordagem Proativa	As empresas passam a ter um comportamento proativo, antecipando os problemas ambientais, por meio da inserção da variável ambiental dentro do planejamento estratégico.
Donaire (1994)	3 estágios	Controle Ambiental nas Saídas	A empresa mantém a estrutura produtiva existente, inserindo controles em chaminés e redes de esgoto.
		Controle nas práticas e processos industriais	Variável ambiental integra-se nos processos produtivos.
		Controle ambiental na gestão da empresa	As organizações passam a ver a variável ambiental como uma ameaça ou uma oportunidade para a sua competitividade.
Sanches (2000)	2 estágios	Padrão reativo	A variável ambiental é vista, apenas, como geradora de custos.
		Padrão proativo	A variável ambiental passa a ser vista como uma oportunidade de negócio.
Corazza (2000)	2 estágios	Integração pontual	As empresas passam a integrar, pontualmente, a variável ambiental, por meio da criação de cargos e departamentos.
		Integração matricial	O planejamento, a execução e controle da política ambiental da empresa passam a integrar diversas áreas da mesma.
Rohrich e Cunha (2004)	3 estágios	Controle	As empresas tinham, como objetivo, monitorar a poluição e atender as leis.
		Prevenção	A variável ambiental é introduzida nas decisões da empresa.
		Proatividade	A variável ambiental passa a influenciar as decisões estratégicas tomadas pela alta direção.
Barbieri (2004)	3 estágios	Controle da poluição	As empresas começam a utilizar práticas ambientais somente para cumprir a legislação.
		Integração preventiva	A questão ambiental passa a ser inserida no cotidiano da empresa, sendo integrada com as funções e processos produtivos.
		Integração estratégica	A questão ambiental torna-se estratégica.

Fonte: Adaptado de Jabbour e Santos, 2011.

Analisando as perspectivas evolutivas apresentadas por Jabbour e Santos (2011), é possível perceber que, independentemente do autor, a variável ambiental foi vista de, pelo menos, duas maneiras diferentes pelas empresas ao longo dos últimos quarenta anos.

Inicialmente, ela era apontada como um gasto, de modo que as organizações só pensavam na sustentabilidade quando necessitavam cumprir as legislações. Em outras palavras, a inserção das práticas ambientais ocorria, apenas, para evitar multas e punições (JABBOUR; SANTOS, 2011).

Com o passar dos anos essa visão modificou-se; as empresas passaram a enxergar a sustentabilidade como uma forma de se diferenciar em um mercado competitivo. Assim, as organizações passaram a considerá-la em suas decisões e no planejamento estratégico (JABBOUR; SANTOS, 2011).

Em resumo, percebe-se, a partir da perspectiva histórica apresentada, que o conceito de sustentabilidade e a forma como ela é vista pelos mais diversos atores globais modificou-se ao longo das últimas décadas, tornando-se um aspecto relevante para a sociedade, os governos e as empresas.

Na sequência deste estudo discute-se, mais detalhadamente, a atual relevância do tema para as empresas.

1.3 A importância da Sustentabilidade para as Empresas: o uso de práticas sustentáveis para alavancar a competitividade empresarial

A sustentabilidade, como já mencionado, é um tópico que, a partir da segunda metade do século passado, passou a influenciar as estratégias e as operações das empresas. Tal feito deve-se, principalmente, ao fato de as organizações terem percebido que era possível se diferenciar de suas concorrentes por meio da adesão de práticas sustentáveis (BRAGA JR. *et al.*, 2005).

De acordo com Sznelwar *et al.* (2011, p. 139):

[...] as organizações que estão direcionando suas atuações em mercados ditos mais conscientes buscam envolver em sua estratégia competitiva a responsabilidade socioambiental. [...] Independentemente do propósito da incorporação do modelo sustentável em uma organização – se ocorre por meio de uma ampliação de consciência ou por uma necessidade de marketing e sobrevivência no mercado –, a consideração dos conceitos da sustentabilidade nas organizações é cada vez mais necessária e precisa estar explícita em suas ações.

Em suma, é possível mencionar que as organizações notaram que a sustentabilidade poderia se tornar um aspecto importante para a obtenção de vantagem competitiva (NAKAGAWA, 2011). É importante entender que, no cenário atual, os consumidores passaram a considerar outros critérios no momento de compra, tais como: a existência de selos verdes; o não uso, por parte da empresa, de trabalho escravo ou infantil; a adoção de práticas sustentáveis. Nesse sentido, as organizações, em sua grande maioria, tiveram que se preocupar com tais aspectos para, assim, garantir sua sobrevivência (ACADEMIA PEARSON, 2011).

No mesmo sentido, Backer (1995) e Braga Jr. *et al.* (2005) apontam que as empresas passaram a visualizar a sustentabilidade como uma forma de diferenciação. Landrum e Edwards (2009) acrescentam que negócios sustentáveis podem auxiliar as organizações não só a melhorarem sua imagem e sua reputação, como também a reduzirem seus custos.

De acordo Tachizawa (2011, p. 5):

[...] dados obtidos no dia-a-dia evidenciam que a tendência de preservação ambiental e ecológica por parte das organizações deve continuar de forma permanente e definitiva; os resultados econômicos passam a depender cada vez mais de decisões empresariais que levem em conta que: a) não há conflito entre lucratividade e questão ambiental; b) o movimento ambientalista cresce em escala mundial; c) clientes e comunidade em geral passam a valorizar cada vez mais a proteção do meio ambiente; d) a demanda e, portanto, o faturamento das empresas passam a sofrer cada vez mais pressões e a depender diretamente do comportamento de consumidores que enfatizam suas preferências para produtos e organizações ecologicamente corretos.

Essa transformação organizacional fundamenta-se em uma mudança de paradigma que:

[...] envolve a passagem do pensamento mecanicista para o pensamento sistêmico, no qual um aspecto essencial dessa mudança é que a percepção do mundo como uma máquina cede lugar à percepção do mundo como sistema vivo (TACHIZAWA, 2011, p. 10).

Todavia, cabe ressaltar que essa percepção a respeito da sustentabilidade é recente. Durante anos, os aspectos ambientais foram tratados estritamente como uma fonte geradora de custos pelas empresas, sendo considerados devido às penalidades legais (TACHIZAWA, 2011; ASHLEY, 2005; DONAIRE, 1999).

Nakagawa (2011) menciona que as empresas, quase sempre, foram responsabilizadas pelos problemas ambientais. Nesse sentido, elas mudaram, ao longo do tempo, a sua forma de lidar com a sustentabilidade, passando de reativas para proativas. Nidumolu, Prahalad e Rangaswami (2009) apontam uma evolução da empresa sustentável (TABELA 6).

Tabela 6 - Evolução da empresa sustentável

	Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3	Estágio 4	Estágio 5
	Obrigações como oportunidades	Cadeia de valor sustentável	Produtos e serviços sustentáveis	Novos modelos de negócio	Criando novas plataformas
Desafio central	Garantir que obrigações normativas se tornem uma oportunidade para inovação.	Aumentar a eficiência na cadeia de valor.	Desenvolver ofertas sustentáveis e tornar as existentes mais ecoamigáveis.	Encontrar uma forma inédita de entregar e capturar valor que alterará as bases de competição.	Questionar, sob a ótica da sustentabilidade, a lógica dominante dos negócios de hoje em dia.
Competências necessárias	<p>Habilidade para antecipar e propor por legislação.</p> <p>Habilidade para trabalhar com outras empresas, incluindo rivais para implementar soluções criativas.</p>	<p>Conhecimentos técnicos, como gestão da cadeia do carbono e avaliação do ciclo de vida do produto.</p> <p>Habilidade para redesenhar operações para que utilizem menos recursos, produzam menos emissões.</p>	Habilidade para conhecer os produtos que são mais danosos ao meio ambiente. Habilidade para obter o apoio do público para ofertas sustentáveis e que não caiam na categoria <i>greenwashing</i> .	<p>Capacidade para entender o que o consumidor quer e vislumbrar diferentes soluções para entender</p> <p>Habilidade para entender como os parceiros podem fortalecer o valor das ofertas.</p>	Conhecimento de como recursos renováveis e não renováveis afetam o ecossistema de negócio.
Oportunidades de inovação	Utilizar as obrigações regulatórias para incentivar a empresa e seus parceiros a experimentar tecnologias, materiais e processos mais sustentáveis.	<p>Desenvolver fontes sustentáveis de matérias-primas.</p> <p>Aumentar o uso de energia limpa, como eólica e solar. Encontrar usos inovativos para produtos retornados.</p>	<p>Aplicar técnicas como biomimética no desenvolvimento de produtos.</p> <p>Desenvolver embalagens compactas e ecoamigáveis.</p>	<p>Desenvolvimento de novas tecnologias que mudam a cadeia de valor.</p> <p>Criar modelos de monetização mais baseados em serviços do que em produtos.</p>	<p>Criar plataformas de negócios que auxiliarão fornecedores e clientes na gestão de energia.</p> <p>Desenvolver tecnologias que auxiliarão empresas a usar energia que elas próprias geram.</p>

Fonte: Adaptado de Nidumolu, Prahalad e Rangaswami, 2009.

Tachizawa (2011) e Donaire (1999) apontam que as empresas mudaram a percepção ao longo das últimas duas décadas do século XX, e isso ocorreu devido às vantagens legais, socioambientais e, principalmente econômicas que elas poderiam conquistar.

A Tabela 7 expõe algumas das vantagens que uma empresa pode conseguir com a inclusão da variável sustentável; todavia, cabe ressaltar que a adoção pode variar, sendo influenciada tanto por fatores externos - pressão da comunidade local; atendimento à legislação ambiental; prevenção de acidentes ecológicos; pressões de agências ou bancos financiadores -, quanto internos - custos de tratamentos e disposição de resíduos; custos de matérias-primas e de produção; otimização da qualidade dos produtos acabados - (SCHENINI, 1999).

Tabela 7 - Vantagens e benefícios motivadores para adotar práticas sustentáveis

Vantagens e Benefícios Motivadores		
Aspectos Econômicos	Aspectos Socioambientais	Aspectos Legais
<ul style="list-style-type: none"> • Redução do consumo de água, energia, matérias-primas, disposição final de resíduos e outros insumos; • Economias devido à reciclagem, venda e aproveitamento de resíduos e diminuição de efluentes; • Aumento da contribuição marginal de “produtos verdes” que podem ser vendidos a preços mais elevados; • Aumento da participação no mercado devido à inovação dos produtos; • Aumento da produtividade; • Aumento de credibilidade com bancos; • Adoção de seguros menos dispendiosos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução de problemas com saúde; • Minimização dos impactos ao meio ambiente dos produtos; • Aperfeiçoamento de sistemas de gerenciamento ambiental, evitando desastres ao meio ambiente; • Melhoria da performance do meio ambiente com a introdução da qualidade total, que reduz desperdício; • Diminuição do estoque e a proteção do mesmo e redução de riscos de acidentes a funcionários, público e meio ambiente; 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução e até eliminação de multas e penalidades devido à poluição; • Menos complicações legais; • Menores custos com seguros; • Diminuição de riscos de indenizações a terceiros.

Fonte: Adaptado de Santos e Porto, 2008.

Para alcançar tais vantagens e atender às pressões socioambientais, as empresas passaram a desenvolver e adotar ferramentas e práticas sustentáveis que minimizassem a agressão ao ecossistema e, ao mesmo tempo, auxiliassem na maximização do lucro.

Considerando tal objetivo, as empresas passaram a adaptar, principalmente, seus processos produtivos. De acordo com Pereira (2009), todo processo de produção possui como variáveis de entrada: energia, matéria-prima e recursos humanos. Estes geram não somente produtos e serviços, como também lixo e sucata, que podem ser minimizados pelo uso adequado de tecnologias e por meio de decisões que considerem o impacto ambiental (FIGURA 2).

Figura 2 - Processo produtivo genérico

Fonte: Pereira, 2009.

Em outras palavras, as empresas devem adotar práticas e modelos de gestão que auxiliem a minimizar os impactos de seus processos produtivos. Bolwijn e Kumpe (1990 *apud* Nakagawa, 2011) apontam que a sustentabilidade transformou o cenário organizacional, passando a modificar diversos aspectos como: os produtos, os modelos de gestão, os processos, etc.

Ao longo dos anos foram desenvolvidas diversas práticas sustentáveis; entre elas estão: o *Total Quality Environmental Management* (TQEM), o sistema de gestão ambiental, as normas ISO 14.000 e 26.0000.

Amato Neto (2011b) apresenta as principais abordagens e práticas relacionadas com a sustentabilidade. Elas estão expostas na Tabela 8.

Tabela 8 - Principais abordagens relacionadas com a sustentabilidade

Abordagem	Descrição
Ecoeficiência	Baseia-se na concepção berço a berço do produto, onde se produz, utiliza-se, reutiliza-se o produto com o mínimo de perda.
Análise do ciclo de vida do produto (<i>life cycle assessment</i>)	Ferramenta que permite uma avaliação de todos os impactos ambientais de um produto ao longo do seu ciclo de vida.
Produção mais limpa (P+L)	Consiste na utilização de estratégias e procedimentos que minimizem o impacto no meio ambiente. Estas envolvem padrões rigorosos de produção.
Logística Reversa	Área da logística que opera, planeja e controla o fluxo de retorno dos bens ao ciclo produtivo.
Normas ISO 14.000	Normas que estabelecem diretrizes sobre a área de gestão ambiental da organização.

Fonte: Amato Neto, 2011b.

Além das práticas expostas na Tabela 8, existem diversas outras abordagens utilizadas pelas empresas para atender às demandas socioambientais; entre elas está o gerenciamento da emissão de gases de efeito estufa, foco central deste estudo, que ganha destaque com o estabelecimento do protocolo de Kyoto e da criação do mercado de carbono. Tais tópicos são detalhados no capítulo 3.

2. O PAPEL DA GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS NA COMPETITIVIDADE DAS EMPRESAS

Este capítulo evidencia a importância da gestão da cadeia de suprimentos para a competitividade das empresas nos dias atuais. Para tanto, aborda tópicos como: o conceito de cadeia de suprimentos e de sua gestão; a evolução histórica da relevância de tais elementos; a importância da gestão de relacionamentos, do compartilhamento de riscos e recompensas para a GCS e a relação entre a obtenção de vantagem competitiva sustentável e a gestão eficaz e eficiente da cadeia de suprimentos.

2.1 A Cadeia de Suprimentos: definições, abrangência e complexidade

Entende-se, neste estudo, que a cadeia de suprimentos envolve todos os processos, diretos ou indiretos, que estão relacionados com o atendimento do mercado. Dessa forma, incluem-se na CS todas as atividades de modificação e movimentação de um produto ou serviço desde o fornecedor de matéria-prima até o consumidor final (CHOPRA; MEINDL, 2011).

Na mesma linha de pensamento, Christopher (2013, p. 4), menciona que a cadeia envolve:

[...] uma rede de organizações conectadas e interdependentes entre si, trabalhando cooperativamente e em conjunto para controlar, gerenciar e melhorar os fluxos de materiais e informações de fornecedores para usuários finais.

Existem outros autores que corroboram, em linhas gerais, com os conceitos apresentados. Ballou (2006), por exemplo, cita a CS como uma estrutura de empresas, envolvendo desde fornecedores até clientes, em que os fluxos de entrada e de saída de produtos e de informação são organizados e gerenciados.

Já Ritzman e Krajewski (2004) afirmam que a cadeia de suprimentos envolve um conjunto de empresas na transformação e disponibilização de produtos e serviços para o consumidor final.

Bowersox, Closs e Cooper (2006), por sua vez, apresentam uma definição mais ampla, mostrando a cadeia de suprimentos como uma rede integrada de operações de negócios que envolvem desde a aquisição de matérias-primas até a entrega de produtos ao consumidor final. Dado que estas operações ocorrem, na maioria das vezes, entre empresas, evidencia-se a necessidade de gerir as relações interempresariais, levando em conta limitações de capacidade, informações, capital e recursos humanos das organizações envolvidas.

Assim, a partir das definições apresentadas, é possível perceber que, apesar de diferenças mínimas, todos os conceitos apresentados consideram que a CS envolve todas as empresas e atividades relacionadas com o processo de transformação e movimentação do produto até que ele chegue ao cliente final.

Chopra e Meindl (2011) apontam que, ao longo de uma cadeia de suprimentos, existem três fluxos de igual importância os quais precisam ser gerenciados para que a empresa consiga alcançar os objetivos vinculados. Eles são:

- a) Produção de produtos e serviços;
- b) Informação;
- c) Recursos financeiros.

De acordo com Mentzer (2004), somente uma coordenação eficiente desses fluxos permitirá redução dos custos e uma eventual obtenção de vantagem competitiva.

A Figura 3 ilustra a configuração básica de uma cadeia de suprimentos. Nela é possível perceber que:

- a) uma CS pode envolver diversas empresas como, por exemplo, fabricantes, fornecedores, transportadoras e distribuidoras, atacadistas, varejistas e os próprios consumidores (CHOPRA; MEINDL, 2011);
- b) os fluxos podem ocorrer tanto no caminho dos fornecedores, denominado como sentido montante ou *upstream*, quanto no sentido dos consumidores, designado como sentido jusante ou *downstream* (PIRES, 2007).

Figura 3 - Representação de uma cadeia de suprimentos básica

Fonte: Adaptado de Pires, 2007.

A Figura 3 ilustra uma configuração simplificada; todavia, algumas cadeias de suprimentos podem possuir uma estrutura mais complexa, com muitos estágios de fornecedores e consumidores, além de relações e fluxos não lineares (HASHEMI; BUTCHER; CHHETRI, 2013; CHOPRA; MEINDL, 2011; LAMBERT, 2004; PIRES, 2007).

De um modo geral, é possível apontar que a estrutura operacional de uma cadeia de suprimentos envolve quatro aspectos: as estruturas e as instalações físicas, os estoques, os meios de transporte e o fluxo de informações.

Ponderando sobre as dimensões de uma cadeia de suprimentos, Lambert (2004) e Pires (2007) afirmam que elas são únicas, uma vez que podem variar de acordo com: a quantidade de estágios ou *tiers* envolvidos; a quantidade de empresas presentes em cada um desses estágios e com a ótica de análise, uma vez que a gestão de uma empresa sempre verá aquela organização como o centro da cadeia de suprimentos.

Ainda considerando sobre as diferentes estruturas da CS, Mentzer *et al.* (2001) mencionam que as estruturas da cadeia de suprimentos podem ser divididas em três tipos diferentes:

- a) cadeia de suprimentos direta;
- b) cadeia de suprimentos estendida;
- c) cadeia de suprimentos final.

A Figura 4 ilustra as configurações das três dimensões expostas pelos autores.

Figura 4 - Níveis de complexidade de uma cadeia de suprimentos

Fonte: Adaptado de Mentzer *et al.*, 2001, p. 5 (tradução nossa).

A Figura 4 expõe que, para Mentzer *et al.* (2001), o nível de complexidade está diretamente relacionado com a quantidade de estágios da cadeia de suprimentos. A cadeia de suprimentos direta, por exemplo, envolve somente a organização foco e os seus clientes e fornecedores diretos; já a estendida engloba todas as companhias do nível anterior mais o fornecedor do fornecedor e consumidor do consumidor. Finalmente, a cadeia de suprimentos final abrange todas as empresas da CS, desde o primeiro fornecedor até o último consumidor.

Na literatura também é possível encontrar outros autores que dividem as cadeias de suprimentos de acordo com os níveis de estágios envolvidos. Slack, Johnston e Chambers (2009), Pires (2007) e Viagi, Alves e Santos (2009), por exemplo, citam que existem três níveis na CS:

- a) o interno, que envolve somente os fluxos entre departamentos e áreas da própria empresa;
- b) o imediato, que abrange as empresas – fornecedores e clientes – que estão diretamente ligadas com a organização foco;
- c) o total, que engloba todos fornecedores, clientes e processos que ocorrem ao longo de toda a cadeia.

Ainda analisando a complexidade da cadeia de suprimentos, Hashemi, Butcher e Chhetri (2013) afirmam que não existe uma definição consensual sobre esse tema. De acordo com os autores, a complexidade, mesmo aquela não referente à CS, envolve aspectos quantitativos e qualitativos, sendo que os quantitativos são aqueles referentes ao número de conexões ou relacionamentos existentes, enquanto os qualitativos envolvem o nível e o tipo da interdependência entre as empresas relacionadas.

Nesse sentido, Hashemi, Butcher e Chhetri (2013, p. 151) afirmam que “a complexidade é inerente à estrutura da cadeia de suprimentos, uma vez que ela envolve múltiplas relações entre empresas”. Além disto, a complexidade também se faz presente nas operações e processos que ocorrem na CS (HASHEMI; BUTCHER; CHHETRI, 2013).

Percebe-se que a complexidade está ligada ao fato de uma cadeia de suprimentos envolver muitas empresas, cada uma com seus objetivos e características específicas, complexificando a gestão dos processos e dos relacionamentos intraorganizacionais. Tal condição fica mais evidente no cenário atual, em que as cadeias ganharam caráter global, com fornecedores e clientes espalhados ao redor do mundo (HASHEMI; BUTCHER; CHHETRI, 2013; LAMBERT, 2004; SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2003).

A complexidade de uma cadeia de suprimentos nos conduz a um novo conceito. Diversos autores defendem que o termo cadeia seja substituído por rede de suprimentos (CHRISTOPHER, 2013; LAMBERT, 2004; LAMBERT; COOPER, 2000).

Christopher (2013, p. 04), por exemplo, menciona que

a palavra cadeia deveria ser substituída por rede, já que normalmente existirão vários fornecedores e, de fato, fornecedores dos fornecedores, bem como vários clientes e clientes dos clientes a serem incluídos no sistema total.

Essa ideia também é defendida por Slack, Johnston e Chambers (2009), já que, para eles, uma operação sempre fará parte de uma outra. Seguindo essa analogia, uma cadeia de suprimentos sempre fará parte de outra, tornando o termo cadeia muito simplista para explicar a realidade enfrentada pelas organizações.

Lambert (2004), Lambert e Cooper (2000) e Lambert, Cooper e Pagh (1998) vão além, mencionando que o termo cadeia de suprimentos sugere haver linearidade nos relacionamentos entre empresas. Segundo os autores, a maioria das CS se sobrepõem, não sendo possível separar integralmente as empresas participantes, uma vez que estas podem fazer parte de diversas cadeias.

Na mesma linha de pensamento, Lamming *et al.* (2000) comparam os aspectos condizentes às expressões cadeia de suprimentos e rede de suprimentos. De acordo com os autores, o primeiro termo é simples, linear e unidimensional, enquanto o segundo é complexo, envolvendo fluxos em ambos os sentidos, *loops* reversos, etc. Nesse sentido, o termo rede de suprimentos ou “*supply network*” é mais condizente com a realidade atual enfrentada pelas empresas.

Apesar de parecer um ponto pacífico na literatura que o termo rede expressa melhor as características desse sistema, é necessário ressaltar que a nomenclatura vigente é uma expressão consolidada e disseminada, o que dificulta a adoção de nova terminologia.

Dessa forma, apesar de entender que o termo rede representa melhor as características do atual cenário de negócio, este estudo utilizará a expressão cadeia de suprimentos para se referir à rede de processos e às entidades relacionadas com a atividade de transformação e de entrega do produto acabado ao consumidor final.

Independentemente do termo utilizado ou da configuração que ele possui, entende-se que o principal objetivo de uma cadeia de suprimentos é atender às necessidades do consumidor, por meio de uma gestão eficiente de seus custos e serviços (CHOPRA; MEINDL, 2011; CHRISTOPHER, 2013; MANUJ; MENTZER, 2008).

Para Chopra e Meindl (2011), as cadeias de suprimentos visam, sobretudo, maximizar o valor gerado, que é calculado a partir da relação entre o produto acabado de acordo com a ótica do cliente e os custos de produzir, movimentar e entregar tal produto.

Segundo Christopher (2013, p.11) o objetivo da CS é “ligar o mercado, a rede de distribuição, o processo de fabricação e a atividade de aquisição de tal forma que os clientes sejam atendidos em níveis elevados e, ainda assim, a um custo baixo”.

Percebe-se que as empresas querem, por meio de suas cadeias de suprimentos, agregar valor aos seus produtos ou serviços. No entanto, a ideia de valor pode variar de empresa para empresa ou de mercado para mercado. Chopra e Meindl (2011) e Manuj e Mentzer (2008) entendem que, para a maioria das organizações, esse conceito está diretamente relacionado com o retorno que as empresas podem gerar por meio dos processos de produção, movimentação e entrega de produtos.

Para alcançar este retorno, elas necessitam gerenciar de maneira eficaz e eficiente todos os fluxos que ocorrem ao longo da cadeia de suprimentos, isso porque estes são fontes de custos (CHOPRA; MEINDL, 2011).

É neste contexto que a gestão da cadeia de suprimentos ganha importância. As organizações perceberam que, para melhorar a performance da cadeia de suprimentos, maximizando suas receitas e minimizando seus custos, elas devem administrar eficientemente seus fluxos, processos e relacionamentos.

2.2 Gestão da Cadeia de Suprimentos: definições e abrangências

A gestão da cadeia de suprimentos é um tema que se tornou relevante a partir da década de 1980, chamando a atenção de estudiosos e gestores, que passaram a discutir seu escopo e seu real impacto na competitividade empresarial.

Assim, é possível encontrar debates de diversos autores sobre o tema. Apesar de divergências existentes em relação à abrangência e alguns outros pontos, todos os estudiosos partem do pressuposto de que o cenário de negócios se transformou, fazendo a gestão dos processos intraorganizacionais ser essencial para o sucesso do negócio.

Christopher (2013), por exemplo, aponta sete transformações nos negócios que, de uma forma ou de outra, aumentaram a relevância da gestão da cadeia de suprimentos. Essas transformações são:

- a) substituição da visão do “fornecedor-cêntrico” para “cliente-cêntrico”: as empresas precisam trocar sua orientação voltada para a minimização dos custos para outra que enfatize a maximização do atendimento às necessidades dos consumidores;
- b) troca da produção empurrada para a puxada: essa mudança visa uma diminuição dos estoques, uma vez que nada será fabricado até existir demanda para isso;
- c) aumento da importância do fluxo de informações: estas passaram a ditar o ritmo das empresas, com ênfase em previsões;
- d) maior ênfase nos relacionamentos: as empresas devem trabalhar para estabelecer relacionamentos de longo prazo, compartilhando riscos e recompensas;
- e) ênfase no canal ponta a ponta: as organizações passaram a centralizar seus esforços logísticos em todas as movimentações e transportes que ocorrem na cadeia de suprimentos;
- f) ênfase no processos: as constantes mudanças ambientais criaram a necessidade das empresas se tornarem mais ágeis. Nesse sentido, elas devem centralizar esforços em seus processos, uma vez que estes se adaptam melhor às demandas do mercado;

- g) Concorrência em rede: atualmente, as empresas possuem diversos fornecedores e clientes. Assim, somente as empresas que gerenciarem corretamente os processos externos, conseguirão garantir seu retorno.

Essas sete mudanças mencionadas por Christopher (2013) estão expostas na Tabela 9. Nela é possível visualizar os impactos de cada uma delas e as competências necessárias às empresas para conseguir sobreviver nesse "novo" mercado.

Tabela 9 - Transformações nos negócios e as suas implicações na gestão empresarial

Transformação empresarial	Levando a	Competências necessárias
De "fornecedor-cêntrico" para "cliente-cêntrico"	Design de cadeias de suprimentos conduzidas pelo cliente	Compreensão de mercado; visão do cliente
De empurrar para puxar	Altos níveis de agilidade e flexibilidade	Gestão de complexidade e de mudança
De estoques para informações	Captação e compartilhamento de informações sobre a demanda real	Adoção de sistemas de informação e conhecimento de tecnologias de informação
De transações para relações	Concentração no atendimento e na resposta para a manutenção de clientes	Capacidade para definir, mensurar e gerenciar os requisitos de serviço por segmento de mercado
De gestão de canalizações do tipo "caminhões e galpões" para "ponta a ponta"	Definição mais ampla dos custos da cadeia de suprimentos	Compreensão dos indicadores de desempenho de "custo de atendimento"
De funções a processos	Criação de equipes interfuncionais focadas na criação de valor	Excelência com a compreensão interfuncional
De concorrência autônoma a rivalidade de redes	Aumento do trabalho colaborativo com parceiros da cadeia de suprimentos	Gestão de relacionamento e orientação "ganha-ganha"

Fonte: Adaptado de Christopher, 2013.

As transformações apontadas por Christopher (2013) também são mencionadas por outros autores, porém, de maneira isolada.

Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi (2003), por exemplo, analisando a ênfase dada aos processos internos, mencionam que, durante as décadas de 1960 a 1980, as empresas aplicaram técnicas e estratégias, tais como o “*just in time*”, a produção enxuta e a gestão da qualidade total que se direcionavam à minimização dos custos internos. Todavia, isso se modificou nas últimas décadas, quando as organizações perceberam que os processos externos possuem um grande impacto sobre os custos totais, exigindo, por isso, serem gerenciados de maneira adequada.

Já Lambert e Cooper (2000) citam que a mudança do pensamento autônomo para a competição entre empresas é um dos principais paradigmas do século XX. Segundo os autores: “uma das mudanças mais significativas do paradigma de negócios é que as empresas não competem mais individualmente, mas sim entre cadeias de suprimentos” (LAMBERT; COOPER, 2000, p.01, tradução nossa).

Mentzer *et al.* (2001, p.18, tradução nossa) entende que a gestão da cadeia de suprimentos é:

[...] a coordenação sistêmica e estratégica das tradicionais funções de negócios dentro de uma particular empresa e ao longo da cadeia de suprimentos, com o propósito de melhorar o desempenho no longo prazo das empresas individualmente e da cadeia de suprimentos como um todo.

Christopher (2013) apresenta uma definição mais genérica, que compreende a GCS como a gestão das relações intra-organizacionais, com o objetivo de atender melhor às necessidades dos clientes, agregando valor ao produto ou serviço.

Bowersox, Closs e Cooper (2007) também seguem essa linha de pensamento, mencionando que o conceito envolve a colaboração entre empresas para melhorar a performance da cadeia de suprimentos.

Já Ritzman e Krajewski (2004) citam que a GCS abrange a integração de parceiros e de processos para, assim, aumentar a eficiência e eficácia do atendimento das demandas dos consumidores por meio dos fluxos de produção e de informação.

Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi (2003, p. 29), por sua vez, mencionam que:

[...] a gestão da cadeia de suprimentos é um conjunto de abordagens utilizadas para integrar eficientemente fornecedores, fabricantes, depósitos e armazéns, de forma que a mercadoria seja produzida e distribuída na quantidade certa, para a localização certa e no tempo certo, de forma a minimizar os custos globais do sistema ao mesmo tempo em que atinge o nível de serviço desejado.

Percebe-se que existem pequenas diferenças na conceituação apresentada. Bechtel e Jayaram (1997) mencionam que existem quatro escolas, cada uma com seu entendimento sobre o escopo da gestão da cadeia de suprimentos. Elas são:

- a) a que reconhece a ocorrência do processo produtivo estendendo-se do fornecedor ao consumidor final (*chain awareness school*)
- b) a que se foca nos relacionamentos entre empresas e na sua importância (*linkage school*);
- c) a que se foca e reconhece a importância do fluxo de informação (*information schools*);
- d) a que se centraliza na integração dos processos (*integration schools*).

Esta pesquisa considera, como definição base, aquela apresentada pelo *Global Supply Chain Forum* (GCSF)² e mencionada por diversos autores, como por exemplo, Lambert e Cooper (2000, p. 66, tradução nossa) e Croxton *et al.* (2001, p. 13, tradução nossa). Segundo tal definição, a gestão da cadeia de suprimentos é:

[...] a integração dos processos-chave de negócios desde o usuário final até os fornecedores originais que providenciam produtos, serviços e informações que adicionam valor para os clientes e acionistas.

² Grupo que estuda o conceito da gestão da cadeia de suprimentos, visando entender sua abrangência e seus impactos nas empresas.

O GCSF menciona que existem oito processos-chave que devem ser integrados ao longo da cadeia de suprimentos. Estes, de acordo com Lambert e Cooper (2000) e Lambert, Cooper e Pagh (1998), são:

- a) a gestão do relacionamento com os clientes;
- b) a gestão do serviço ao cliente;
- c) a gestão da demanda, processo que envolve a sua previsão;
- d) o atendimento de pedidos;
- e) a gestão do fluxo de produção;
- f) a gestão do relacionamento com fornecedores;
- g) o desenvolvimento e comercialização de produtos;
- h) a gestão de retorno.

A Figura 5 expõe estes processos. Nela é possível notar a característica multifuncional da gestão da cadeia de suprimentos. Os oito processos podem envolver diversas áreas dos membros da cadeia de suprimentos, tais como logística, compras, marketing, produção, finanças e pesquisa & desenvolvimento (CROXTON *et al.*, 2001).

Figura 5 - Processos a serem integrados na gestão da cadeia de suprimentos

Fonte: Adaptado de Croxton *et al.*, 2001 (tradução nossa).

Handfield e Nichols (1999) apontam três motivos para as empresas procurarem a integração:

- a) a revolução da informação;
- b) o aumento da competitividade em escala global;
- c) o desenvolvimento de novos tipos de relacionamentos entre empresas.

Todavia, essa integração só ocorrerá se houver uma mudança nas estruturas das organizações. Tradicionalmente, as empresas administram seus negócios por meio de uma estrutura funcional e departamentalizada (PIRES, 2007). No entanto, muitas vêm mudando essa forma de gestão para uma estrutura baseada em processos (CHRISTOPHER, 2013; BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2007).

Bowersox, Closs e Cooper (2007) denotam que tal mudança está relacionada com a percepção, por parte das empresas, de que na estrutura funcional as áreas permanecem isoladas, prejudicando a eficiência e a eficácia da companhia como um todo (CHRISTOPHER, 2013).

Trkman *et al.* (2007) mencionam que um modelo de negócios baseado em processos pode:

- a) ajudar a entender o negócio como um todo;
- b) auxiliar no desenvolvimento de sistemas de informação;
- c) melhorar a estrutura e a operação do negócio;
- d) auxiliar na identificação de oportunidades de terceirização.

Christopher (2013), por sua vez, cita que a orientação para processos pode facilitar a inovação e o desenvolvimento de produtos, auxiliar a gestão de clientes, fortalecer a relação com os fornecedores e auxiliar na gestão da cadeia de suprimentos.

Percebe-se, então, que a orientação para processos pode proporcionar diversos benefícios para as organizações. Entretanto, ela só se tornará útil para a GCS caso estes processos sejam integrados.

Nesse sentido, Costa, Rodrigues e Ladeira (2005) e Russel (2007) afirmam que deve existir uma integração de determinados processos considerados centrais ao longo da cadeia. Lambert e Cooper (2000) denominam estes como processos-chave de negócios.

A ideia da existência de processos-chave de negócios baseia-se no fato de uma empresa não poder integrar todos os processos da cadeia, devido, principalmente, à escassez de recursos. Assim, a organização deve determinar quais

atividades serão integradas (LAMBERT; COOPER, 2000; LAMBERT; COOPER; PAGH, 1998).

Lambert, Cooper e Pagh (1998) propõem um modelo conceitual de gestão da cadeia de suprimentos que envolve três elementos interligados:

- a) a estrutura da cadeia de suprimentos, que engloba as decisões relacionadas com a estrutura da cadeia e a escolha dos seus membros-chave;
- b) os processos de negócios, que abrangem a escolha de qual processo deve ser integrado;
- c) os componentes gerenciais, compreendendo as decisões relacionadas ao nível de integração.

De uma maneira geral, é possível afirmar que a integração de processos é, atualmente, um ponto central para a gestão da cadeia de suprimentos, que vem ganhando importância ao longo dos últimos anos, uma vez que auxilia na obtenção da vantagem competitiva (PIRES, 2007; BOWERSOX; CLOSS, 2001). Entretanto, este trabalho compreende que tal integração só existirá se houver uma administração eficaz dos relacionamentos entre os membros da cadeia de suprimentos.

2.2.1 A administração dos relacionamentos na Gestão da Cadeia de Suprimentos: o compartilhamento de riscos e recompensas

De um modo geral, muito se tem falado que as empresas não competem mais de maneira isolada, mas sim entre suas cadeias de suprimentos (AMATO NETO, 2011b; CHRISTOPHER, 2013; LAMBERT; COOPER, 2000; LAMBERT; COOPER; PAGH, 1998). Neste contexto, as empresas devem entender que fazem parte de uma rede de organizações com competências e capacidades complementares (CHRISTOPHER, 2013).

Em outras palavras, as empresas devem compreender que um relacionamento cooperativo é essencial para melhorar o desempenho geral da CS (CHOPRA; MEINDL, 2011; CHRISTOPHER, 2013; ALVAREZ; QUEIROZ, 2003).

Amato Neto (2011b) expõe que as empresas já tiveram diversos tipos de relacionamentos com seus fornecedores, sendo que nos anos iniciais do século XX elas buscavam integralizar seus processos produtivos:

Tal estratégia se dava, principalmente, para evitar ou minimizar os vários custos envolvidos nas relações empresa-fornecedor, tais como: transporte de peças/componentes; risco associado aos possíveis atrasos nas entregas; falta de confiança nos fornecedores quanto à garantia de qualidade, bem como outros custos de transação (WILLIAMSON, 1985 *apud* AMATO NETO, 2011b, p.92).

Com o passar dos anos, tal estratégia modificou-se e as empresas passaram a concentrar seus esforços e seus recursos na sua atividade principal, passando, dessa forma, a depender mais de seus fornecedores (AMATO NETO, 2011b). Assim, tornou-se necessário administrar de maneira distinta os processos com seus fornecedores.

Neste sentido, Humphries e Wilding (2001) mencionam que a atual preocupação com os relacionamentos intraorganizacionais justifica-se devido: à globalização dos mercados, ao aumento da expectativa dos consumidores e à intensificação da competição.

Entretanto, Kotler e Keller (2012) registram que, à medida que as empresas se internacionalizam, elas percebem que não possuem capacidade de alcançar o sucesso por si mesmas. Elas devem reconhecer a necessidade de criar parcerias com outras empresas.

Na mesma linha de pensamento, Pires (2007) e Alves Filho *et al.* (2004) afirmam que os relacionamentos empresariais ficaram mais estáveis e cooperativos, com as organizações podendo compartilhar riscos e recompensas. Isto ocorre porque, analisando sob a ótica da cadeia de suprimentos, uma companhia dificilmente controlará todo o processo produtivo, necessitando de parceiros que possam ajudá-la a atender às necessidades dos clientes.

Pires (2007), analisando as relações existentes dentro de uma cadeia de suprimentos, apresenta uma classificação com sete tipos de relacionamentos entre organizações, que vão desde uma simples relação comercial até a integração vertical.

Tais relações comerciais variam de acordo com o nível de cooperação entre as empresas (TABELA 10).

Tabela 10 - Tipos de relacionamentos entre empresas

Nível	Relacionamento	Características
1	Comercial	Relações meramente comerciais entre empresas independentes.
2	Acordos não contratuais	Acordos informais para alcance de alguns objetivos comuns.
3	Acordos via licenças	Cooperação multilateral, via contrato.
4	Alianças	Empresas independentes com participação mútua no negócio.
5	Parcerias	Empresas independentes, agindo como se fossem uma mesma unidade de negócios, com grande nível de colaboração, de alinhamento de objetivos.
6	<i>Joint Ventures</i>	Participação mútua no negócio, geralmente via uma nova empresa.
7	Integração Vertical	Envolve a incorporação dos processos por parte de uma empresa.

Fonte: Pires, 2007.

Assim, as empresas precisam estabelecer quais serão os tipos de relacionamentos com as demais organizações pertencentes à cadeia de suprimentos.

Corrêa e Corrêa (2012) sugerem um método de seleção, que considera dois aspectos: a centralidade da atividade e o custo de troca. De acordo com os autores, se a atividade exercida pelo fornecedor for central e se o custo de trocá-lo for muito alto, a empresa deve estabelecer um relacionamento mais próximo, que pode variar entre uma *joint venture*, parceria estratégica ou uma integração vertical.

A Figura 6 expõe os tipos de relações com os fornecedores de uma cadeia de suprimento de acordo com Corrêa e Corrêa (2012).

Figura 6 - Relações com fornecedores, considerando a centralidade da atividade e o custo de transação

Fonte: Corrêa e Corrêa, 2012.

Ainda analisando a Figura 6, percebe-se que, no quadrante Q1, o custo de trocar de fornecedor é baixo, uma vez que existem vários deles. Nessa situação, as empresas devem procurar estabelecer relações puramente comerciais.

As empresas enquadradas no Q4 são dependentes dos seus fornecedores, uma vez que, apesar da baixa centralidade das atividades, existe um alto custo envolvido; em vista disso, as organizações devem perseguir contratos de longo prazo.

Já aquelas que estiverem classificadas no quadrante Q2, em que a atividade é central, mas o custo de transação é baixo, devem trabalhar para desenvolver uma parceria, para que, assim, possam perseguir uma diferenciação e, dessa forma, conquistar uma vantagem competitiva.

Finalmente, como já mencionado, caso a empresa enfrente uma situação em que a atividade é central e o custo de trocar de fornecedor é muito alto, ela deve procurar estabelecer um relacionamento mais próximo, em se possa compartilhar riscos e recompensas, como, por exemplo, as parcerias.

Concomitantemente ao estabelecimento do tipo de relacionamento, a empresa deve, também, decidir a quantidade de fornecedores que ela terá. Slack, Johnston e Chambers (2009) apontam que as organizações podem optar por estratégias de fornecedor único (*single sourcing*) ou de vários fornecedores (*multi-sourcing*).

Amato Neto (2011b) menciona uma das tendências atuais no estabelecimento dos relacionamentos dentro de uma cadeia de suprimentos - é a busca pela redução de fornecedores. Segundo o autor, a minimização de fontes de fornecimento pode auxiliar:

- a) no gerenciamento da qualidade;
- b) na redução da variabilidade;
- c) na redução de custos;
- d) no aumento do volume de negócios;
- e) na possibilidade de estabelecer parcerias.

De um modo geral, a administração dos relacionamentos da cadeia de suprimentos, quando analisado o tipo e quantidade de relações que a empresa terá, deve considerar os produtos que serão adquiridos, o volume de compras e a existência de produtos substitutos. Caso o item seja avaliado como estratégico, a empresa deve estabelecer uma relação de parceria, para que as companhias envolvidas possam integrar processos e compartilhar riscos e recompensas.

Em resumo, o estabelecimento do relacionamento entre empresas é um aspecto estratégico para cada uma delas, uma vez que pode impactar diretamente no resultado dos negócios.

2.3 Vantagem Competitiva e Gestão da Cadeia de Suprimentos

O cenário atual, como já mencionado, caracteriza-se pela alta competitividade. Diante de tal situação, as organizações produtivas passaram a procurar maneiras de se diferenciar de seus concorrentes e, assim, garantir sua sobrevivência.

Por isso, o conceito de vantagem competitiva é um dos temas mais debatidos atualmente, tanto por intelectuais, quanto por empresários. É possível mencionar que a vantagem competitiva é um diferencial que surge do valor criado por uma empresa e percebido por seus consumidores. Em suma, tal vantagem caracteriza-se por adicionar valor sob a ótica dos clientes e por não permitir ser substituída imediatamente (PORTER, 1986).

Vasconcelos e Cyrino (2000) apontam que o conceito da vantagem competitiva também é abordado em pensamentos econômicos, como por exemplo: na economia neoclássica, na teoria da agência e dos custos de transação. Todavia, estes não se preocupam com as estratégias empresariais para alcançar tal diferencial. Em contrapartida, os autores apontam várias teorias que abordam tanto a vantagem competitiva, como a estratégia para obtê-la. Tais teorias dividem-se em dois eixos:

O primeiro eixo classifica os estudos segundo sua concepção da origem da vantagem competitiva. Dois casos são, assim, identificados: a) as teorias que consideram a vantagem competitiva como um atributo de posicionamento, exterior à organização, derivado da estrutura da indústria, da dinâmica da concorrência e do mercado e b) as que consideram a performance superior como um fenômeno decorrente primariamente de características internas da organização.

A segunda dimensão discrimina as abordagens segundo suas premissas sobre a concorrência. Uma divisão se faz entre os pesquisadores que possuem uma visão estrutural, essencialmente estática, da concorrência, fundada na noção de equilíbrio econômico, e os que enfocam os aspectos dinâmicos e mutáveis da concorrência, acentuando fenômenos como inovação, descontinuidade e desequilíbrio (VASCONCELOS; CYRINO, 2000, p. 23).

Esper, Fugate e Davis-Sramek (2007) sintetizam, mencionando que as pesquisas sobre vantagem competitiva se resumem àquelas baseadas, principalmente, nos estudos de Michael Porter, as quais consideram ser a diferenciação derivada do mercado e também às que acreditam ser a vantagem originada das capacidades e recursos da própria organização.

Apesar de reconhecer a existência de diversas teorias, esta pesquisa pretende analisar a vantagem competitiva sustentável - de médio ou longo prazo - sob a ótica da gestão da cadeia de suprimentos. Dessa forma, acredita-se que a vantagem competitiva é uma “posição duradoura sobre concorrentes em termos de preferência do cliente” (CHRISTOPHER, 2013, p. 4), sendo que tal diferenciação pode ser alcançada por meio de uma gestão eficiente e eficaz dos processos que ocorrem ao longo da cadeia de suprimentos.

De acordo com Porter (1986, p.33):

A vantagem competitiva não pode ser compreendida olhando-se para uma empresa como um todo. Ela decorre das muitas atividades discretas que uma empresa realiza no projeto, na produção, na publicidade, na entrega e no apoio a seu produto. Cada uma dessas atividades pode contribuir para a posição de custo relativo de uma empresa e criar uma base para a diferenciação.

Christopher (2013) ainda menciona que, sob a ótica da cadeia de suprimentos, é possível alcançar vantagem competitiva de diversas maneiras. Dessa forma, o autor aponta um modelo baseado nos relacionamentos entre a empresa, seus clientes e seus concorrentes, que é denominado como modelo dos três Cs.

A Figura 7 expõe tal modelo.

Figura 7 - Vantagem competitiva de acordo com o modelo dos três Cs

Fonte: Christopher, 2013.

A Figura 7 expõe a relação entre a empresa, seus concorrentes e seus consumidores. Analisando-a, é possível afirmar que a vantagem competitiva poderá ser alcançada de, pelo menos, duas maneiras diferentes: por meio da capacidade da empresa em se destacar dos seus concorrentes sob a ótica dos consumidores e por meio de custos inferiores aos das demais empresas (CHRISTOPHER, 2013).

Christopher (2013) ainda complementa, mencionando que as empresas devem buscar vantagens vinculadas ao valor, ao custo ou a ambos.

A vantagem relacionada ao custo é um dos aspectos que sempre foi objetivado pelas empresas, que, continuamente, procuram oferecer produtos a um preço inferior ao dos seus concorrentes. De um modo geral, esse objetivo interfere diretamente na margem de lucro da organização, que deve, assim, buscar minimizar seus custos para garantir sua lucratividade.

Durante anos, como já mencionado, esta minimização dos custos era obtida por meio da otimização dos processos internos. No entanto, tal cenário modificou-se;

atualmente, grande parte dos custos empresariais está relacionada a processos externos, o que torna a cadeia de suprimentos um foco central para a conquista da vantagem competitiva (CHRISTOPHER, 2013; SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2003).

De acordo com Christopher (2013, p.6)

a logística e a gestão da cadeia de suprimentos podem fornecer uma variedade de maneiras para aumentar a eficiência e a produtividade e, conseqüentemente, contribuir de modo significativo para a redução de custos unitários.

Entre essas maneiras, é possível citar: a escolha adequada dos fornecedores, a redução do percurso logístico, a redução dos estoques ao longo da cadeia de suprimentos, etc.

A vantagem relacionada ao valor, por sua vez, é um aspecto que passou a ser perseguido pela maioria das empresas a partir das últimas décadas do século XX, diante da constatação de que se o produto oferecido não for diferenciado daquele ofertado pelos concorrentes, existe probabilidade de os clientes procurarem o de custo inferior (CHRISTOPHER, 2013).

Nesse sentido, as empresas passaram a buscar formas para agregar valor perceptível aos olhos dos clientes. Uma das principais maneiras de se diferenciar é por meio do atendimento às necessidades dos clientes, ofertando serviços que atendam às demandas dos consumidores.

A Figura 8 ilustra as maneiras de se obter vantagens competitivas por meio da cadeia de suprimentos, seja pela redução de custos, seja pela percepção de valor.

Figura 8 - Obtendo vantagem competitiva pela cadeia de suprimentos

Fonte: Christopher, 2013.

Analisando a figura, é possível notar que, além das estratégias básicas, vinculadas ao valor e ao custo, uma empresa pode buscar uma alternativa voltada a ambas. Tal opção é a escolha ideal para o cenário de negócios atual, caracterizado pela competitividade, uma vez que, para se destacar, as organizações devem procurar um nível de excelência em ambos os aspectos.

Por isso, a cadeia de suprimentos enquadra-se como fator central diante deste cenário, tendo em vista que seu objetivo mais básico é:

[...] ligar o mercado, a rede de distribuição, o processo de fabricação e a atividade de aquisição de tal forma que os clientes sejam atendidos em níveis mais elevados e ainda assim a um custo mais baixo. Em outras palavras, o objetivo é alcançar uma vantagem competitiva por meio da redução de custos e da melhoria de serviços (CHRISTOPHER, 2013, p. 11).

De acordo com Esper, Fugate e Davis-Sramek (2007), a cadeia de suprimentos e os processos logísticos tornaram-se um aspecto importante para a obtenção da

vantagem competitiva. Em suma, a cadeia de suprimentos tornou-se essencial por ser uma fonte de redução de custos e de serviços diferenciados.

Um dos aspectos que pode auxiliar na obtenção da vantagem competitiva por meio da cadeia de suprimentos é a inclusão da variável ambiental em seus processos.

De um modo geral, tal inserção pode proporcionar diversos benefícios para as empresas. De acordo com Christopher (2013, p. 291) as

estratégias de cadeia de suprimentos que beneficiam o meio ambiente em geral também são suscetíveis de envolver a empresa em menos custos no longo prazo, como resultado da melhor utilização de recursos.

Além disso, existe, atualmente, uma demanda pela conservação ambiental. As empresas que utilizarem práticas sustentáveis conseguirão atender tal exigência, agregando valor à marca pela diferenciação dos seus concorrentes.

Considerando tal aspecto, esta pesquisa explora, na sequência, o conceito de gestão sustentável da cadeia de suprimentos, verificando a evolução do conceito até tal estágio, além de averiguar como as organizações podem obter vantagens competitivas pela inserção de práticas sustentáveis em seus processos.

2.4 A evolução da Gestão da Cadeia de Suprimentos até a Sustentabilidade

O surgimento do conceito de gestão da cadeia de suprimentos não está diretamente ligado a nenhuma data ou marco histórico (COSTA; RODRIGUES; LADEIRA, 2005). Sabe-se que a origem do termo remete-se a um artigo publicado em 1982 por Oliver e Weber, denominado *Supply Chain Management: logistics catches up with strategy* (COSTA; RODRIGUES; LADEIRA, 2005; RUSSEL, 2007).

As teorias que tratam da evolução da GCS seguem duas vertentes similares: uma que acredita ser a gestão da cadeia de suprimentos uma evolução do conceito de logística e de distribuição física, e outra que visualiza a GCS como um conceito novo (OKINO, 2010).

Ballou (2006) apresenta um esquema evolutivo, no qual ilustra como a gestão da cadeia de suprimentos ganhou o seu escopo atual (Figura 9).

Figura 9 - Integração de atividades até a origem da gestão da cadeia de suprimentos

Fonte: Ballou, 2006.

A segunda vertente mencionada por Okino (2010) defende que o conceito é mais amplo que a logística, uma vez que compreende os processos de negócios de todas as empresas envolvidas na cadeia de suprimentos.

Dessa forma, a gestão da cadeia de suprimentos está vinculada a diversos setores empresariais, possuindo origens na área de compras, marketing, produção e

logística. De acordo com Pires (2007), a GCS é uma expansão dessas quatro áreas, obrigadas a se adaptarem às condições impostas pelo mercado.

Apesar de demonstrarem processos evolutivos distintos, ambas vertentes consideram que a GCS é uma área multifuncional que possui uma conotação estratégica.

Todavia, tais evoluções não consideravam as demandas dos dias atuais, como por exemplo, a da sustentabilidade. Dessa forma, visando atender tal necessidade, as empresas passaram a incorporar práticas sustentáveis, não só dentro de suas fronteiras, como também ao longo da cadeia de suprimentos (CARVALHO, 2011; BRITO; BERARDI, 2010; SRIVASTAVA, 2007).

Segundo Brito e Berardi (2010, p.158):

Inicialmente, a gestão da cadeia de suprimentos focava, tanto em teoria quanto na prática, questões relacionadas à integração de processos entre parceiros da cadeia, análise de custo-eficiência dos fornecedores da cadeia e serviços aos consumidores. Contudo, com a elevação da discussão ambiental e social associada aos questionamentos sobre impactos de produção e consumo, novos interesses despontaram: logística reversa, gestão ambiental, cadeia de suprimento verde e cadeia de suprimento sustentável. Assim, percebe-se que a gestão sustentável de operações aproximou a visão tradicional de gestão de operações – lucro e eficiência, com aspectos mais amplos de impactos aos públicos de interesse e ao meio ambiente.

Carvalho (2011) aponta que a inserção das dimensões sociais e ambientais no escopo da cadeia de suprimentos se dá devido a pressões de diversos atores, como: consumidores, governos e “*stakeholders*”.

Dentro desse contexto, originam-se outros conceitos que relacionam os aspectos socioambientais com a cadeia de suprimentos. Eles relacionam-se com outros temas como: gestão ambiental, *triple bottom line*, fornecimento verde, estratégias de compras verdes, marketing verde, logística reversa, ciclo de vida do produto, retorno de produtos, reciclagem, substituição e reuso de materiais, etc.

Christopher (2013), por exemplo, liga o conceito de cadeia de suprimentos com o do *triple bottom line*, relacionando-o com três elementos: as pessoas; os lucros e o planeta.

A Figura 10 expõe tal visão.

Figura 10 - Escopo do *triple bottom line*

Fonte: Christopher (2013).

Entre os conceitos que relacionam a CS e a sustentabilidade, um dos que mais se destaca é o de gestão sustentável da cadeia de suprimentos, também conhecido por *green supply chain management* (GSCM).

De acordo com Srivastava (2007, p. 54), tal tema envolve:

[...] a integração do pensamento ambiental à SCM, incluindo o design do produto, busca e seleção de materiais, processos produtivos, entrega do produto final aos consumidores e gestão do fim de vida do produto após sua vida útil.

Amato Neto (2011b) e Sarkis, Zhu e Lai (2011) corroboram com tal ideia; segundo eles, o GSCM integra as preocupações com o meio ambiente no contexto da cadeia de suprimentos, mais precisamente na gestão de seus processos de negócios.

Por outro lado, Presoto, Souza e Thurler (2013, p.03) acreditam que:

[...] a gestão sustentável da cadeia de suprimentos, por sua vez, pode ser entendida como a maximização da produção de lucro e de bens em um extenso período de tempo sem causar danos a nenhum sistema natural ou social envolvido.

Já Srivastava (2007) menciona que o objetivo básico deste conceito é reduzir o impacto ambiental e social das atividades produtivas, sem impactar a lucratividade das organizações.

De um modo geral, a inserção dos aspectos ambientais dentro do escopo da gestão da cadeia de suprimentos pode proporcionar diversos benefícios para as empresas. Dessa forma, os membros da CS devem pensar não somente no lado econômico, como também nos aspectos sociais e ambientais, modificando o modo como é feito o fluxo de produção, informação e monetário (SANTA-EULALIA *et al.*, 2011).

Carvalho (2011, p.38) aponta que o principal instrumento para a redução do impacto ambiental dentro de uma cadeia de suprimentos é a avaliação de ciclo de vida (*“life cycle assessment / analysis” – LCA*), que

permite que sejam integralmente medidos, analisados e reunidos, os efeitos ambientais de um produto durante todo o seu ciclo de vida, associados a consumo de energia e materiais, e aos diferentes tipos de emissões e resíduos relacionados ao produto.

Amato Neto (2011b), por sua vez, expõe que a seleção adequada de fornecedores também deve ser considerada em uma gestão sustentável da cadeia de suprimentos. Segundo o autor:

Buscando concentrar seus esforços, recursos e investimentos na atividade central, a grande empresa passa a depender de toda uma cadeia de fornecedores e para isso necessita desenvolver uma nova função gerencial – a gestão da cadeia de fornecedores como fator crítico de sucesso em seus negócios (AMATO NETO, 2011b, p. 92).

Amato Neto (2011b) ainda aponta que, na gestão sustentável da cadeia de suprimentos, as empresas podem utilizar diversas práticas sustentáveis, tais como: a ecoeficiência, a análise do ciclo de vida do produto, a produção mais limpa, a logística reversa, a remanufatura, a reciclagem, as normas ISO 14.000 e 26.000, etc. Ainda é possível citar o gerenciamento de emissão de gases de efeito estufa, que é um dos tópicos centrais deste estudo e que é abordado mais amplamente na sequência deste estudo.

3. O MERCADO DE CARBONO E AS METODOLOGIAS DE GERENCIAMENTO DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Este capítulo expõe os principais aspectos do mercado de carbono e do mecanismo de desenvolvimento limpo, demonstrando a origem e a evolução histórica de tal segmento, bem como sua atual relevância no cenário de negócios. Também aborda as principais metodologias de gerenciamento de emissão de gases de efeito estufa, apresentando suas abrangências e características.

3.1 Os Gases de Efeito Estufa, o Mercado de Carbono e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

O aquecimento global é um dos tópicos relacionados com a questão ambiental, que ganhou mais notoriedade no século passado (MAGALHÃES, BETARELLI JÚNIOR, DOMINGUES, 2014). Cenamo (2004) afirma que, neste período, a temperatura média do planeta subiu 0,56°C graus. Goldemberg e Meira Filho (2005), por sua vez, mencionam que o aumento da temperatura é uma realidade que vem implicando no derretimento das calotas polares, no aumento do nível dos oceanos, no desaparecimento de cidades de baixa altitude, etc.

De certa forma, é possível afirmar que as mudanças climáticas, principalmente aquelas relacionadas com o aumento de temperatura, são fruto da acumulação de gases de efeito estufa (GEE), que, por sua vez, são decorrentes do processo de industrialização ocorrido na maioria dos países nos últimos séculos (MAGALHÃES, BETARELLI JÚNIOR, DOMINGUES, 2014).

Gouveia e Mesquita (2011) e Cenamo (2004) também apontam os gases de efeito estufa como os principais causadores da elevação da temperatura do planeta. Segundo os autores, as atividades industriais, a queima de grandes quantidades de petróleo e carvão e a exploração das florestas são os principais geradores de GEE.

Em concordância com os autores anteriormente citados, Pinho (2009) expõe que o aumento de emissão de GEE está diretamente relacionado com a queima de

combustíveis fósseis, sendo que o atual nível de emissão é o principal responsável pelo aumento de temperatura.

Entre os gases de efeito estufa, o que possui maior proeminência é o dióxido de carbono (CO_2), que corresponde a mais de 55% das emissões totais. Todavia, é importante ressaltar que outros GEE originados, principalmente, das atividades industriais e do processo de urbanização também influenciam o aumento da temperatura (MAGALHÃES, BETARELLI JÚNIOR, DOMINGUES, 2014); entre eles estão: os Clorofluorcarbonos (CFCs); Hexafluoreto de enxofre (SF_6); Hidrofluorcarbonos (HFCs); Metano (CH_4); Óxido nitroso (N_2O); Ozônio (O_3); Perfluorcarbonos (PFCs), e Vapor d'água (H_2O_v).

A Figura 11 expõe a relação entre o aumento da emissão de gases de efeito estufa e o aumento da temperatura mundial.

Figura 11 - A relação entre o aumento da temperatura do planeta e a concentração de GEE

Fonte: Trenberth e Fasullo, 2013.

Em 1997, na busca de soluções para os problemas relacionados com a emissão de gases de efeito estufa, realizou-se na cidade de Kyoto a 3ª Conferência das Partes, na qual estabeleceu-se o protocolo de Kyoto, documento ratificado em

1998 e que entrou em vigor em fevereiro de 2005 (GOUVEIA; MESQUITA, 2011; SANTIN, 2007; DOMINGOS, 2007).

Oliveira (2010) cita cinco sanções básicas que os países acordantes deveriam cumprir:

- a) reforma dos setores de energia e transporte;
- b) utilização de fontes de energia renováveis;
- c) proteção do ecossistema;
- d) redução da emissão de GEE;
- e) eliminação de mecanismos que influenciariam, negativamente, o resultado do protocolo de Kyoto, que estabelecia metas para a redução de emissão de gases de efeito estufa.

Para cumprir tais metas, o protocolo mencionava que os países denominados industrializados, também conhecidos como países do Anexo 1³, deveriam reduzir, aproximadamente, 5,2% de suas emissões⁴ ao longo do período de compromisso, que compreendia os anos entre 2008 e 2012 (DIAS, 2006; GOUVEIA; MESQUITA, 2011; CENAMO, 2004).

Além disso, o documento também argumentava que as emissões originadas dos países em desenvolvimento não deveriam ser restringidas, para assim, não limitar o progresso de tais nações (DIAS, 2006). Em suma, ele seguia o conceito de “responsabilidade comum, porém, diferenciada” (OLIVEIRA, 2010, p. 15).

Gouveia e Mesquita (2011) alegam, então, que para não prejudicar os indicadores dos países desenvolvidos, o protocolo citava que a redução poderia

³ Fazem parte desse grupo os países pertencentes à OCDE (*Organisation for Economic Co-operation and Development*). Essas nações são: Alemanha, Austrália, Áustria, Belarus, Bélgica, Bulgária, Canadá, Croácia, República Tcheca, Dinamarca, Estônia, Comunidade Européia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Islândia, Irlanda, Itália, Japão, Latvia, Liechtenstein, Lituânia, Luxemburgo, Mônaco, Holanda, Nova Zelândia, Noruega, Polônia, Portugal, Romênia, Rússia, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Suécia, Suíça, Turquia, Ucrânia, Inglaterra e Estados Unidos da América (PINHO, 2009, p. 3).

⁴ Em comparação aos indicadores de 1990.

acontecer de diversas formas. Assim, foram criados vários mecanismos para facilitar o atendimento das metas; um deles dirige-se ao mercado de carbono e possibilita que, após atingirem a meta pré-estabelecida, os agentes possam comercializar os excedentes para as demais nações (DIAS, 2006). Cenamo (2004), complementa, citando que também foi criado o mecanismo de desenvolvimento limpo.

A expectativa era que o mercado de carbono envolvesse, em 2007, cerca de 13 bilhões de dólares. Todavia, este número foi superado, em 2011, o comércio já havia movimentado mais de 120 bilhões de euros (GHG PROTOCOL, 2014; BVRIO, 2013; SANTOS, 2001).

Atualmente, as Certificações de Emissões Reduzidas (CRE) são negociadas internacionalmente, sob a forma de títulos de créditos. No Brasil, a BM&F Bovespa negocia os certificados em dois mercados: o Regulatório e o Voluntário, sendo que, este último, como o nome já diz, envolve a compra de créditos segundo a conveniência do comprador (OLIVEIRA, 2010).

Resumidamente, a partir da comercialização dos certificados, as empresas de países desenvolvidos passaram a ter o “direito de poluir”. Em outras palavras, as organizações de nações industrializadas que possuem metas de reduções, mas que não conseguem cumpri-las, podem comprar os CREs (OLIVEIRA, 2010).

Para Khalili (2003, p.01):

Créditos de carbono são certificados que autorizam o direito de poluir. O princípio é simples. As agências de proteção ambiental reguladoras emitem certificados autorizando emissões de toneladas de dióxido de enxofre, monóxido de carbono e outros gases poluentes. Inicialmente, selecionam-se indústrias que mais poluem no País e a partir daí são estabelecidas metas para a redução de suas emissões. As empresas recebem bônus negociáveis na proporção de suas responsabilidades. Cada bônus, cotado em dólares, equivale a uma tonelada de poluentes. Quem não cumpre as metas de redução progressiva estabelecidas por lei, tem que comprar certificados das empresas mais bem sucedidas. [...]. Estes certificados podem ser comercializados por intermédio das Bolsas de Valores e de Mercadorias.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), exposto no artigo 12 do protocolo de Kyoto, foi criado a partir de uma proposta do Brasil na Convenção Quadro

das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC). Ele é destinado aos países em desenvolvimento e objetiva estimular a criação e o uso de projetos que emitam menos carbono à atmosfera. Nesse cenário, cada tonelada retirada pode ser comprada por empresas de países que necessitam cumprir suas metas (OLIVEIRA, 2010; DIAS, 2006).

Em linhas gerais, ele quer incentivar o custeio, por parte de países industrializados, de projetos e medidas que auxiliem a emissão de GEE das nações em desenvolvimento. Como resultado de tal estímulo, o agente que auxiliou, obtém um Certificado de Redução de Emissões a cada não emissão de uma tonelada métrica de dióxido de carbono (DIAS, 2006).

De acordo com Dias (2006) e Meneguín (2012), existem diversos critérios para o reconhecimento e aceitação de um projeto relacionado ao MDL. Entre eles, podem ser citados:

- a) envolver agentes de forma voluntária;
- b) estar relacionado aos objetivos sustentáveis do país onde o projeto será implantado;
- c) reduzir, realmente, a emissão de gases GEE;
- d) contabilizar o aumento de gases GEE que ocorra fora dos limites do projeto;
- e) gerar benefícios climáticos, mensuráveis e de longo prazo.

No Brasil, a resolução nº 1/2003 da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima regulamenta tal aspecto. Cabe ressaltar que o Brasil é um dos países que mais deveria lucrar com tal mecanismo, pois estimativas mencionavam que o país teria uma participação de, aproximadamente, 10% do mercado de MDL em 2007 (MENEGUÍN, 2012).

Nesse sentido, percebe-se que o mercado de carbono e o MDL são mecanismos que podem crescer no Brasil, estimulando práticas sustentáveis que respeitem os princípios do desenvolvimento sustentável.

Pinho (2009, p.7) cita que:

[...] foi detectada uma correlação forte entre o crescimento econômico e a habilidade de se implementar medidas que reduzam emissões e sejam de baixo custo, pois é mais barato aplicar tecnologia limpa (energia renovável) e eficiente quando se constrói uma nova planta de geração de eletricidade, uma nova casa, um carro novo, do que reformar o mais antigo (PINHO, 2009, p.7)

Em suma, o Brasil e os demais países em desenvolvimento são foco para a implementação de práticas que reduzam a emissão de GEE, pois o custo de reduzir a emissão é inferior àquele dos países desenvolvidos. Ademais, nesses países, ainda é possível evitar o desmatamento de florestas, o que auxiliaria a reduzir a quantidade desses gases na atmosfera (PINHO, 2009).

De modo geral, ambos os mecanismos apresentam diversos aspectos positivos para as empresas, tanto dos países desenvolvidos quanto dos subdesenvolvidos, uma vez que todas elas podem se beneficiar do comércio de créditos e de certificados de carbonos. Considerando tal aspecto, as organizações devem passar a mensurar a emissão de gases de efeito estufa, para que, assim, possam se beneficiar das vantagens de tal mercado.

Na sequência, são apresentadas algumas metodologias de gerenciamento e medição de GEE.

3.2 O Gerenciamento e as Metodologias para a quantificação da emissão de Gases de Efeito Estufa

Os sistemas produtivos são os principais responsáveis pelo aumento da emissão de gases de efeito estufa e, conseqüentemente, do aumento da temperatura do planeta. Todavia, eles também são responsáveis por diversas mudanças que trouxeram benefícios para a sociedade. Nesse sentido, não se deve procurar a minimização do crescimento econômico, mas sim, como mencionado pelo conceito de desenvolvimento sustentável, buscar o equilíbrio entre tal evolução e seu impacto socioambiental (PINHO, 2009).

Até por isso, as empresas devem adotar práticas sustentáveis para diminuir sua influência no meio ambiente. Pinho (2009) afirma que as empresas devem incorporar,

entre suas práticas sustentáveis, o gerenciamento de GEE, uma nova abordagem empresarial que introduz operações na busca da redução das emissões.

O gerenciamento deve começar pelo mapeamento das emissões atuais das empresas. Em posse do conhecimento de quanto elas emitem de GEE, as organizações podem tomar decisões com o objetivo de reduzir tal emissão e, assim, minimizar e mitigar seu impacto ambiental (PINHO, 2009).

Além de conhecer o seu inventário, a empresa deve realizar outras etapas em seu gerenciamento de gases de efeito estufa. Pinho (2009) menciona as seguintes fases:

- a) a captura: abrange o processo estruturado da captação das emissões de todas as unidades operacionais;
- b) o gerenciamento: engloba a categorização das emissões e a aplicação de ferramentas metodológicas de contabilização;
- c) o armazenamento: incorpora a armazenagem dos dados em um banco de dados;
- d) a avaliação: em que ocorre o processo de comparação dos resultados com metas pré-estabelecidas;
- e) a comunicação, na qual se dá o processo de comunicação interna e externa dos resultados.

A Figura 12 apresenta o fluxograma adaptado do gerenciamento de GEE.

Figura 12 - Fluxograma do gerenciamento de GEE

Fonte: Pinho, 2009.

De um modo geral, o uso do gerenciamento de GEE vem crescendo. Mesmo empresas do Brasil, que não possuem obrigatoriedade de fazê-lo por lei, já passaram a implementá-lo. Isso porque elas perceberam que é possível alcançar diversos benefícios e oportunidades por meio de tal abordagem (PINHO, 2009). Entre eles, tem-se:

- a) redução de custos e aumento da competitividade: com processos mais eficientes a empresa diminui o consumo de insumos e, principalmente, de combustíveis, tornando-se, assim, mais competitiva;
- b) diminuição de riscos: com o uso do gerenciamento de GEE as empresas se adequam, mesmo que de maneira proativa, às legislações ambientais;
- c) melhora na imagem corporativa e atendimento das partes interessadas: no cenário atual, diversos *stakeholders* pressionam pelo uso de práticas e abordagens sustentáveis nos processos produtivos. Nesse sentido, o uso do gerenciamento de GEE traz benefícios para as organizações, uma vez que atende às demandas de alguns *stakeholders*, melhorando a imagem das empresas diante deles.

Na sequência deste estudo são expostas as metodologias mais utilizadas para quantificar a emissão de GEE, que são: o *software Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation (GREET)*; a metodologia *Renewable Transport Fuel Obligation*; a norma ISO 14.064 e a o *GHG Protocol* (HALL; LEE, 2008; PINHO, 2009; LOPES, 2012).

3.2.1 Metodologia de Quantificação de GEE: o *software* GREET e a *Renewable Transport Fuel Obligation* (RTFO)

O *software* GREET e a *Renewable Transport Fuel Obligation* (RTFO) são metodologias criadas, respectivamente, pelos governos dos Estados Unidos da América e do Reino Unido para quantificar as emissões de gases de efeito estufa lançados na atmosfera durante o ciclo de vida de um produto (LOPES, 2012).

De acordo com Wang (2001), o *software* GREET foi desenvolvido pelo *Argonne National Laboratory* em parceria com o *United States Department of Energy* com o objetivo de fornecer uma ferramenta de computador que permitisse avaliar os impactos das emissões de várias tecnologias de transporte, considerando diferentes combinações de motores e combustíveis.

Lopes (2012) pondera que, apesar de abordar as principais etapas do ciclo de vida de um produto, esta metodologia não permite o cálculo de emissões em cada uma delas, vistas separadamente, o que pode dificultar a identificação dos processos que são responsáveis pela maior carga de emissão de GEE.

Em vista disso, nessa pesquisa, o pesquisador utiliza a metodologia RTFO para quantificar a emissão de GEE na cadeia de suprimentos. Esse método foi criado pela *Renewable Fuels Agency* (RFA), uma agência governamental britânica responsável por estabelecer padrões de desempenho socioambiental para fornecedores de combustíveis (LOPES, 2012).

Lopes (2012) mostra que a metodologia RTFO caracteriza-se por:

- a) considerar os princípios de Avaliação do Ciclo de Vida preconizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) ou pela Organização Internacional para a Normalização (ISO);
- b) abordar as principais etapas do ciclo de vida;
- c) permitir o cálculo de emissões de GEE em etapas da cadeia de suprimentos.

3.2.2 Metodologia de Quantificação de GEE: as Normas ISO 14.064

Em 2006, visando combater os problemas relacionados com a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, a *International Organization for Standardization* (ISO)⁵ lançou uma série de normas para padronizar as informações e os sistemas de quantificação e análise da emissão de GEE, garantindo que uma “tonelada de carbono fosse realmente uma tonelada de carbono” (ANTUNES; QUALHARINI, 2008; WENG; BOEHMER, 2006).

De acordo com Weng e Boehmer (2006), a ISO percebeu, em 2002, que governos e empresas estavam usando diversos projetos para reduzir a emissão de

⁵ A Organização Internacional para a Normalização, também conhecida como *International Organization for Standardization*, é um organismo internacional criado em 1947 e especializado na criação de normas internacionais (ISO, 2014).

GEE. Todavia, todos eram singulares, com características próprias, pois não eram padronizados com protocolos e normas de definição global.

Nesse contexto foram criadas as normas ISO 14.064, que, segundo Weng e Boehmer (2006), foram desenvolvidas pelo Grupo de Trabalho sobre Mudança Climática da ISO, sendo o resultado de anos de estudos relacionados com a questão climática.

Tais normas tinham como objetivo:

- a) melhorar a integridade ambiental, promovendo a consistência, transparência e credibilidade na quantificação, no monitoramento e na declaração dos gases de efeito estufa;
- b) proporcionar métodos que auxiliassem as empresas a identificar obrigações, riscos e oportunidades relacionadas ao gerenciamento das emissões de GEE;
- c) facilitar o comércio de créditos de carbono, de certificações de emissões reduzidas e de certificado de redução de emissões;
- d) apoiar a concepção, desenvolvimento e implementação de sistemas e programas relacionados com a emissão de gases de efeito estufa.

No Brasil, as normas ISO 14.064 foram adaptadas, dando origem, em 5 de novembro de 2007, à NBR ISO 14.064-1: 2007, norma técnica da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que foi elaborada pela Comissão de Estudo de Mudanças Climáticas (CE-38:009.01) (PINHO, 2009; ANTUNES; QUALHARINI, 2008).

Esta norma técnica divide-se em três partes com escopos diferentes (PINHO, 2009; ANTUNES; QUALHARINI, 2008).

A parte 1 envolve o planejamento, o gerenciamento e a comunicação dos inventários de GEE das empresas; assim, o texto da norma contém aspectos relacionados com a quantificação e identificação de fontes emissoras de gases, com a qualidade do gerenciamento de GEE, com a elaboração de relatórios, etc (ANTUNES; QUALHARINI, 2008).

A parte 2 abrange as especificações para quantificar e monitorar atividades e os projetos criados para reduzir a emissão de gases. Finalmente, a parte 3 estabelece os requisitos de controle, verificação e validação dos inventários e dos projetos de redução de GEE. Assim, ela envolve desde o planejamento até a avaliação da declaração dos gases de efeito estufa (ANTUNES; QUALHARINI, 2008).

Apesar da divisão em partes, as normas 14.064 são complementares e se relacionam entre si, como é possível visualizar na Figura 13.

Figura 13 - Relacionamento entre as partes das normas ISO 14.064

Fonte: Antunes e Qualharini, 2008.

A partir do uso da ISO 14.064, uma organização pode conseguir assegurar a consistência dos seus programas de redução da emissão de GEE, uma vez que vê certificada sua metodologia para quantificação, garantindo a padronização dos inventários. Com isto, facilita-se o comércio de carbono (ANTUNES; QUALHARINI, 2008).

Dessa forma, as empresas que usarem tais normas também se beneficiam pelo aumento da credibilidade e pela melhora na imagem da organização, além de eventuais reduções nos riscos ambientais (ANTUNES; QUALHARINI, 2008).

Weng e Boehmer (2006) citam que as normas ISO 14.064 não são uma solução total para os problemas relacionados com a emissão de GEE. No entanto, elas colaboram para amenizar tais problemas, facilitando a criação e a implementação de projetos que ajudem a solucioná-los.

3.2.3 Metodologia de Quantificação de GEE: o *GHG Protocol*

O *GHG Protocol* é um programa de escala mundial que propõe uma série de ferramentas para calcular as emissões de gases de efeito estufa das diferentes atividades que ocorrem, não somente no processo produtivo de uma empresa, como também, ao longo da sua cadeia de suprimentos (PINHO, 2009).

Essa iniciativa foi elaborada em 1998 pelo *World Resources Institute* (WRI) e, atualmente, é a metodologia mais utilizada para controlar e contabilizar as emissões de GEE (GHG Protocol, 2014).

Apesar de ter sido desenvolvido no século passado, o programa só chegou ao Brasil em 2008, a partir de uma ação de diversas instituições públicas e privadas. Atualmente, ele vem sendo cada vez mais utilizado, devido, principalmente, à sua reputação internacional (GHG Protocol, 2014; PINHO, 2009).

A metodologia do *GHG Protocol* tem como objetivo auxiliar na contabilização dos gases de efeito estufa emitidos por uma empresa, ou seja, ela é empregada no momento de concepção do inventário de carbono, também conhecido como *carbon footprints*, que é a primeira etapa do gerenciamento de GEE (PINHO, 2009).

A elaboração desse inventário pode ser dividida em cinco fases:

- a) identificação das fontes que emitem gases;
- b) escolha do método de cálculo;
- c) coleta de dados e seleção dos fatores de emissão;
- d) aplicação do método selecionado;
- e) registro dos resultados.

A Figura 14 ilustra as fases de criação de um inventário de carbono, de acordo com Pinho (2009).

Figura 14 - Fases da criação de um inventário de carbono

Fonte: Adaptado Pinho, 2009.

A primeira fase da criação do inventário, como o nome diz, envolve a identificação das fontes de emissão. De uma maneira geral, o *GHG Protocol* divide os gases de acordo com sua origem; dessa forma, eles são separados em três escopos

diferentes, que medem, desde emissões provenientes de propriedades da empresa avaliada, como por exemplo veículos da indústria, até gases emitidos por fontes que não pertencem às empresas, mas que estão atreladas com a cadeia de suprimentos da mesma, como por exemplo, as emissões vinculadas com o transporte da matéria-prima (GHG PROTOCOL, 2014).

O escopo 1 envolve as emissões relacionadas com os processos de produção, ou seja, aquelas oriundas de propriedades controladas pelas empresas. Já o escopo 2 abrange os gases emitidos indiretamente, geralmente relacionados com a geração de energia e calor (GHG PROTOCOL, 2014).

O escopo 3 engloba as emissões indiretas, que são consequências das atividades da empresa, porém, resultam de processos não controlados por ela (GHG PROTOCOL, 2014).

De acordo com o *GHG Protocol* (2014, p. 40):

[...] as emissões de GEE de Escopo 1 serão calculadas com base nas quantidades adquiridas de combustíveis comerciais (tais como gás natural e óleo para aquecimento), refrigerantes e ar condicionado, usando fatores de emissão publicados. As emissões de Escopo 2 serão calculadas principalmente com base no consumo medido de energia e a partir de fatores de emissão específicos ao fornecedor, ou à rede local, ou outros fatores de emissão publicados. Na maioria dos casos, havendo fatores de emissão específicos por fonte ou unidade, tais fatores são preferíveis a fatores de emissão mais abrangentes ou genéricos.

Nota-se que os gases são divididos de acordo com as fontes de emissão, que podem ser separadas em: diretas, que englobam os GEE derivados de fontes controladas pela empresa e indiretas, que envolvem os gases oriundos da cadeia de suprimentos.

A segunda fase envolve a escolha da ferramenta de cálculo, a ser feita a partir de dois tipos:

- a) intersetoriais: que contabilizam os gases emitidos em atividades de combustão estacionária, combustão móvel, compra de eletricidade, viagens de negócios, transporte de funcionários, etc;

b) setoriais específicas: que calculam atividades particulares de alguns setores.

A terceira fase, na qual os dados são coletados, é a mais trabalhosa para a empresa, uma vez que envolve a coleta de todas as informações relacionadas às emissões de GEE. Nesse sentido, para otimizar tal processo, a organização pode utilizar um sistema de informação que auxilie na coleta, na transmissão e na armazenagem dos dados obtidos (GHG PROTOCOL, 2014).

A quarta fase engloba a aplicação, por parte das empresas, das metodologias e ferramentas escolhidas para o cálculo. Finalmente, na quinta e última etapa, as organizações devem consolidar os dados, para que assim eles possam ser informados por meio de processos de comunicação como o sistema de gestão ambiental (SGA) ou o sistema de gestão de qualidade (SGQ) (GHG PROTOCOL, 2014; PINHO, 2009).

Apesar do crescimento da utilização da metodologia do *GHG Protocol*, Pinho (2009) destaca que ela possui duas limitações básicas. A primeira está relacionada com a inexistência de ferramentas de cálculo para todos setores industriais. Já a segunda refere-se a problemas de coleta de dados, uma vez que muitas atividades não são contabilizadas.

4. METODOLOGIA PARA REDUÇÃO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS (REGEECS)

Este capítulo apresenta a metodologia de redução de emissão de gases de efeito estufa (REGEECS) proposta por este estudo.

4.1 A Metodologia proposta: suas etapas, características e abrangência

A cadeia de suprimentos, como mencionado no capítulo 2, tornou-se um importante aspecto para o planejamento estratégico. As organizações notaram que, para atender às expectativas e exigências dos consumidores em um mercado caracterizado pela alta competitividade, elas deveriam melhorar a performance não somente os processos internos como também aqueles que ocorrem ao longo da CS.

Assim, as ferramentas ambientais não devem abranger somente os processos que ocorrem dentro de uma empresa, mas devem englobar também meios para reduzir o impacto ambiental dos processos que ocorrem ao longo da CS, isso porque tais procedimentos são tão impactantes quantos os originados dentro da organização.

Em outras palavras, as ferramentas ambientais devem ser aplicadas a partir de uma visão macroambiental, que considere os impactos dos processos ocorridos ao longo da cadeia produtiva do produto, sem negligenciar atividades menos representativas ou que ocorrem em organizações menores.

Entende-se que essa análise global, que abrange toda a cadeia de suprimentos, dificilmente é colocada em prática devido às dificuldades e à falta de consciência das organizações, que ainda não conseguem entender que o resultado coletivo, seja ele de lucratividade ou de emissão de gases de efeito estufa, é tão importante quanto o individual.

Conforme apresentado no capítulo 3, as diversas metodologias de gerenciamento de gases de efeito estufa desenvolvidas e empregadas atualmente prestam-se, praticamente, a identificar, quantificar e comunicar os níveis de GEE. Contudo, a metodologia REGEECS proposta por este estudo se diferencia e complementa as demais metodologias, principalmente por considerar formas para

reduzir a emissão de gases, por meio do uso da Tecnologia de Informação (TI) e da Tecnologia da Automação (TA).

Em suma, o objetivo da metodologia proposta é auxiliar o processo de tomada de decisão de situações que envolvem o gerenciamento de emissões de gases, sempre objetivando que o total emitido esteja dentro da meta estabelecida e perseguida pela empresa.

Para tanto, ela é constituída por onze etapas, que são ilustradas na Figura 15 e envolvem, desde a escolha do produto que será considerado para calcular a emissão, até o estabelecimento de prazos para futuras medições.

Figura 15 - Ilustrativa das etapas da Metodologia proposta

Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir da Figura 15, verifica-se que a metodologia REGEECS considera a continuidade temporal dos processos de análise, o gerenciamento e um modelo para a redução de emissões de GEE.

As características, os aspectos e a abrangência de cada etapa da metodologia proposta são detalhados na sequência desta pesquisa.

4.1.1 Etapa 1: A Identificação e a seleção do produto ou serviço em estudo

A primeira fase da metodologia REGEECS envolve a identificação e a escolha do produto que terá mensurada a quantidade de GEE emitida ao longo do seu processo produtivo. Para identificá-lo e selecioná-lo, a empresa deve estabelecer diversos critérios de seleção, qualitativos e/ou quantitativos. Estes, por sua vez, precisam ser ponderados no momento de escolha do item que será analisado.

Ainda é possível observar que a definição do produto ou do serviço, tanto pode vir a ser efetuada por uma decisão interna da empresa, como também pode acontecer por demandas mercadológicas oriundas dos *stakeholders*, ou mesmo devida a uma imposição normativa.

De um modo geral, o procedimento de identificação e seleção de um produto ou serviço não é considerado explicitamente em nenhuma das metodologias expostas no capítulo 4. No entanto, este trabalho de pesquisa acredita que a especificação de um foco de análise pode auxiliar na aplicação de tal metodologia, uma vez que a torna mais simples e amigável às empresas.

Em outras palavras, o gerenciamento dos gases emitidos na cadeia de suprimentos de diversos produtos é complexo, o que afasta as empresas desse processo. Sendo assim, o primeiro passo para que uma empresa tenha um domínio eficaz dos GEE emitidos ao longo da cadeia produtiva é estabelecer qual o foco de análise.

4.1.2 Etapa 2: Mapeamento dos processos da Cadeia de Suprimentos do produto

Após determinar o produto ou o serviço foco da análise, a empresa deve identificar os processos relacionados com a transformação e a movimentação de tal produto. Sendo assim, a segunda etapa da metodologia proposta por esta pesquisa consiste no mapeamento dos processos de extração, produção e movimentação que ocorrem, não somente na empresa mas também ao longo da cadeia de suprimentos.

De um modo geral, pode-se dizer que essa fase é extremamente importante para que as organizações consigam cumprir o objetivo relacionado com a redução do impacto ambiental, uma vez que a mensuração das emissões só será precisa caso sejam identificadas todas as atividades que emitem gases de efeito estufa.

O mapeamento dos processos da CS pode ser dividido em três categorias:

- a) processos de extração: são aqueles envolvidos na obtenção da matéria-prima para a cadeia de suprimentos;
- b) processos de transformação: são os procedimentos efetuados pelas empresas da cadeia de suprimentos envolvidas na transformação da matéria - prima em produtos acabados;
- c) processos de transporte: são aqueles que englobam a movimentação dos produtos ou matéria-prima dentro de uma cadeia de suprimentos. Eles envolvem o transporte das matérias-primas e dos produtos semiacabados dos fornecedores até as indústrias, a movimentação interna e o transporte dos produtos acabados até os consumidores finais.

Em suma, o enfoque sistêmico dos processos produtivos é uma poderosa ferramenta para mapear e identificar os processos que, posteriormente, terão sua emissão de GEE reduzida. Observa-se que todo o processo produtivo demanda uma infraestrutura física, um sistema de informação para gerenciá-lo e recursos humanos, envolvidos, direta ou indiretamente, na produção.

4.1.3 Etapa 3: Identificação e coleta dos insumos e energéticos demandados por diferentes etapas da Cadeia de Suprimentos

Uma vez efetuados os mapeamentos dos processos, deve-se fazer o levantamento dos tipos, volumes e massas dos insumos e dos combustíveis (energéticos) envolvidos nos processos da cadeia de suprimentos.

Além disso, nesta etapa, as empresas também devem contabilizar a quantidade de gases consumidos em todas as etapas da cadeia produtiva.

De um modo geral, esta etapa da metodologia proposta envolve a identificação tanto do volume, quanto da quantidade de insumos e energéticos utilizados nos processos de extração, produção e transporte do produto.

Como a informação possui papel fundamental na elaboração do planejamento estratégico (BOWERSOX; CLOSS, 2001), a coleta de dados torna-se uma das etapas mais importantes para esta metodologia, uma vez que a elaboração das estratégias para reduzir as emissões de gases de efeito estufa basear-se-á nas informações obtidas. Chopra e Meindl (2011) mencionam que as informações devem representar a realidade enfrentada, possuírem relação com a decisão que será tomada e estarem acessíveis no momento apropriado.

Neste mesmo aspecto, também é preciso salientar que o processo de coleta de dados a respeito dos gases emitidos não é responsabilidade só de uma organização, pois todas as empresas que pertencem à CS devem se comprometer a realizar a coleta. Em suma, o envolvimento de todas as corporações é necessário para melhorar o retorno da cadeia, uma vez que a minimização da emissão só será alcançada se todas as companhias se envolverem e compartilharem informações úteis e precisas com os demais membros da cadeia de suprimentos.

4.1.4 Etapa 4: Revisão das etapas anteriores

A quarta etapa da metodologia REGEECS envolve a revisão dos estágios anteriores. Assim, as empresas devem analisar se as escolhas feitas durante as três primeiras fases foram adequadas.

Em outras palavras, a organização deve ponderar se o produto ou serviço escolhido é realmente aquele que deve ser analisado. Além disso, deve verificar se o mapeamento dos processos e a identificação dos insumos e energéticos usados ao longo da cadeia de suprimentos foram feitos da maneira correta.

Caso exista a necessidade de alguma revisão, as empresas devem retornar para etapa anterior. Em caso contrário, elas devem prosseguir para a quinta fase, momento em que serão mapeados os processos menos eficientes.

4.1.5 Etapa 5: Mapeamento dos processos menos eficientes da Cadeia de Suprimentos

Após a etapa de revisão, as organizações devem analisar os resultados de emissão de GEE de todos os processos ocorridos na extração, produção e transporte do produto desde a matéria-prima até a entrega para o consumidor final.

Para tanto, a quinta etapa da metodologia proposta envolve o mapeamento dos procedimentos menos eficientes, ou seja, nessa fase as empresas devem ponderar quais destes procedimentos apresentaram os piores resultados quanto à emissão de GEE.

De um modo geral, esse mapeamento serve para que se possa iniciar um planejamento conjunto para melhorar o gerenciamento de GEE, ou seja, a identificação dos processos menos eficientes é o passo inicial para que se possa elaborar uma estratégia para reduzir os gases emitidos pela empresa foco ou pelos demais componentes de uma cadeia de suprimentos.

4.1.6 Etapa 6: Elaboração, análise e escolha das propostas com o emprego de TI e TA para a redução de emissão de GEE

De acordo com Pereira (2009, p. 72):

a ciência, a engenharia e a tecnologia da automação constituem um conjunto de conhecimentos empíricos e teóricos formados pelo estudo e pela aplicação de metodologias, ferramentas e equipamentos destinados a definir quando e como converter sistemas e processos produtivos manuais em sistemas e processos produtivos automáticos. A automação atual também possibilita a coleta metodológica e precisa de dados que podem ser empregados para se obter a otimização do processo.

Com este foco, o uso de tecnologias da automação e de informação auxilia na otimização de um processo, podendo proporcionar aumento da produtividade, redução da variabilidade dos sistemas, redução dos custos com mão de obra, aumento de qualidade, entre outras vantagens.

A sexta etapa da metodologia REGEECS envolve desde o estudo e a análise de propostas para melhorar os resultados encontrados de emissão de GEE na cadeia de suprimentos até a escolha da melhor proposta. Assim, essa etapa engloba três subprocessos que são expostos na Figura 16.

Figura 16 - Fluxograma dos subprocessos da Etapa 6 da Metodologia

Fonte: Elaborado pelo autor.

No processo da elaboração das alternativas, deve-se, em primeiro lugar, verificar quais os procedimentos menos eficientes, o que já foi determinado na etapa anterior da metodologia. Na sequência, a empresa deve procurar elaborar algumas alternativas baseadas em TI e TA que substituam ou auxiliem o fator humano presente em tais processos.

Em seguida, no segundo subprocesso, a empresa deve analisar as estratégias propostas, verificando o custo de cada uma delas e os eventuais benefícios que possam proporcionar.

Após esta análise, deve-se selecionar a melhor alternativa. Essa escolha pode se basear em critérios que variam de organização para organização. No entanto, é necessário salientar que, entre os aspectos considerados, deve-se sempre analisar:

a redução do impacto ambiental que tal estratégia pode proporcionar; o custo da operacionalização da alternativa selecionada e os impactos na produtividade com consequências no lucro da organização. Além dos critérios citados, pode-se também estabelecer como aspecto a ser considerado no momento de escolha a relação entre os níveis de redução de GEE e o montante de investimento demandado.

4.1.7 Etapa 7: Estimativa da emissão de GEE da Cadeia de Suprimentos

A sétima etapa da metodologia REGEECS envolve uma estimativa do nível de GEE emitidos nos processos de coleta, transformação e transporte de um produto ao longo de uma cadeia de suprimentos.

Após a escolha da alternativa selecionada na etapa anterior, as organizações devem analisar a propriedade da opção feita. Assim, inicialmente, elas precisam verificar os níveis de emissão, averiguando se eles estão de acordo com as expectativas prévias.

4.1.8 Etapa 8: Análise do volume de GEE estimado

Essa fase da metodologia proposta envolve a análise e a comparação dos resultados com os valores previstos.

Caso os resultados não sejam os esperados, deve-se retornar para a sexta fase, elaborando e analisando novas alternativas para diminuir o impacto ambiental da cadeia de suprimentos analisada.

No entanto, caso os resultados sejam positivos, deve-se prosseguir para a próxima etapa, que envolverá o processo de implementação.

4.1.9 Etapa 9: Implementação da Proposta Escolhida

Caso o volume de emissão analisado na etapa 8 seja considerado satisfatório, a empresa que está utilizando a metodologia proposta deve implementar a proposta

de Tecnologia de Informação ou de Tecnologia da Automação escolhida na sexta etapa.

No entanto, é importante salientar que é esta uma decisão estratégica. Neste sentido, a mesma deve ser bem detalhada, explicitando não apenas os aspectos financeiros, econômicos e operacionais, como também os procedimentos necessários para colocá-la em prática, uma vez que o sucesso da mesma só será alcançado se isto acontecer adequadamente.

4.1.10 Etapa 10: Medição e análise da emissão de GEE da Cadeia de Suprimentos

A décima etapa da metodologia proposta por esta pesquisa compreende novos processos de medição e análise das emissões de gases de efeito estufa da CS.

Esta etapa deve ocorrer após a implementação da alternativa escolhida na etapa 6, e precisa abranger a apreciação de dados reais obtidos já com a alternativa posta em prática.

4.1.11 Etapa 11: Estabelecimento de novas metas para a redução da emissão de GEE da Cadeia de Suprimentos

Uma das principais características da metodologia proposta é a sua aplicação contínua ao longo do tempo. Em outras palavras, ela destaca-se por abranger um ciclo contínuo sem término definido, o que pode auxiliar, permanentemente, na obtenção de uma vantagem competitiva sustentável para a organização.

Esta etapa da metodologia envolve o estabelecimento de novas metas para redução da emissão de GEE que ocorre nos processos de coleta, transporte e produção de um produto ou serviço em uma cadeia de suprimentos.

Além da definição das novas metas, a companhia também deve declarar o período necessário para o início do novo ciclo de gerenciamento dos gases de efeito estufa. Dessa forma, após o estabelecimento destes novos objetivos e dos prazos, as organizações devem voltar à segunda etapa, iniciando uma nova identificação dos

processos da cadeia de suprimentos, que podem ter sido modificados desde o seu último mapeamento.

5. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA REGEECS PARA REDUÇÃO DA EMISSÃO DE GEE EM UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Neste capítulo, é apresentada a aplicação da metodologia proposta por este estudo em uma cadeia de suprimentos. Ele divide-se em duas partes distintas: inicialmente, no item 5.1, é mostrada a cadeia de suprimentos onde a metodologia REGEECS é aplicada, juntamente com a justificativa para tal escolha; na sequência, no item 5.2, explana-se sobre a aplicação propriamente dita.

5.1 Definição da Cadeia de Suprimentos escolhida

Para validar a metodologia proposta por este estudo, exposta no capítulo 4, e, assim, verificar a sua efetividade, foi realizada sua implementação em uma cadeia de suprimentos de etanol, que se inicia na região central do Brasil, mais precisamente na cidade de Rio Brilhante no estado de Mato Grosso do Sul, e tem, como destino final, o porto de Santos, onde o produto é destinado à exportação.

A cadeia de suprimentos de etanol foi analisada a partir dos processos de extração (agrícola), produção (industrial) e distribuição. Não foi considerado o processo de cogeração de energia elétrica, devido à falta de dados fidedignos e da baixa participação relativa do mesmo no total das emissões nesta CS (LOPES, 2012).

Os dados utilizados neste estudo são provenientes, principalmente, de fontes secundárias - estudos, artigos, dissertações e teses -, tais como: Lopes (2012), Figueiredo (2012), Carvalho (2012), Souza (2010), EPE (2007), Ometto (2005), Macedo, Leal e Silva (2004), IPCC (2006), Álvares Jr. e Linke (2001), entre outros. Também são usados dados primários, que foram fornecidos pelo proprietário da fazenda de onde é extraída a cana-de-açúcar.

Para se estimar as emissões de gases de efeito estufa dentro das etapas da cadeia de suprimentos do etanol, utilizou-se, principalmente, a metodologia RTFO,

exposta no item 3.2.1. Tal método foi desenvolvido pela *Renewable Fuels Agency*⁶ do Reino Unido, com o objetivo de quantificar as emissões de GEE durante o ciclo de vida de um produto.

5.2 Aplicação da Metodologia proposta na Cadeia de Suprimentos do Etanol

A metodologia REGEECS proposta neste estudo, como exposto no capítulo 4, é dividida em onze etapas, que englobam desde a seleção do produto foco até o estabelecimento de novas metas para a redução de emissão de gases de efeito estufa.

Na sequência, são exibidas as aplicações de todas as etapas na cadeia de suprimentos mencionada no item 5.1.

5.2.1 Etapa 1: A Identificação e a seleção do produto

A primeira etapa da metodologia proposta envolve a escolha do produto ou do serviço que terá mensurada a quantidade de GEE emitida ao longo do seu processo produtivo. Como mencionado no item 4.1.1, nessa etapa, a empresa deve analisar diversos critérios, quantitativos e/ou qualitativos, para, assim, selecionar um item relevante para a redução da emissão de GEE.

Neste estudo, o produto escolhido foi o etanol, que é um álcool composto por um único tipo de molécula (C_2H_5OH ou C_2H_6O), sendo considerado um combustível ecologicamente correto, uma vez que o seu uso auxilia na redução de gás carbônico na atmosfera (ÚNICA, 2015).

A escolha por tal produto para análise deve-se, não somente pelo acesso às informações, como também pelas possibilidades da redução da emissão de gases de efeito estufa que a aplicação da metodologia pode proporcionar.

O Apêndice A apresenta um resumo sobre as principais características gerais

⁶ Agência governamental do Reino Unido responsável por estabelecer padrões de desempenho socioambiental para fornecedores de combustíveis.

do etanol, bem como a sua evolução histórica em território brasileiro.

5.2.2 Etapa 2: Mapeamento dos processos da Cadeia de Suprimentos do Etanol

A segunda etapa da metodologia proposta consiste no mapeamento dos processos que ocorrem ao longo de toda a cadeia de suprimentos do etanol.

De um modo geral, a CS deste produto envolve três macroetapas: a agrícola, a industrial ou de produção e a de distribuição. Tais fases abrangem, principalmente, os mesmos processos de extração e obtenção da matéria-prima, de transformação da mesma em produtos acabados ou semi-acabados e de transporte, que foram apresentados e descritos no item 4.1.2.

Na literatura é possível encontrar estudos que apresentam divergências em relação à quantidade de etapas e aos processos que as compõem.

Ometto (2005 *apud* Lopes, 2012), por exemplo, menciona que as cadeias de suprimentos do etanol são compostas por seis fases diferentes:

- a) manejo agrícola da cana-de-açúcar;
- b) transporte da matéria-prima da lavoura até a usina;
- c) processo de fabricação do etanol;
- d) cogeração de energia elétrica por intermédio da queima da palha e do bagaço da cana-de-açúcar;
- e) transporte do etanol produzido na usina até uma unidade de armazenamento;
- f) utilização do etanol como combustível em autoveículos FFV ou similar.

Percebe-se que a composição apresentada por Ometto (2005 *apud* Lopes, 2012) considera o ciclo de vida completo do etanol, indo desde a produção das mudas até a utilização do álcool. Apesar de entender a importância desta visão, este estudo limita-se aos processos de extração, produção e transporte que são os principais emissores de gases de efeito estufa de uma CS básica.

Assim, na sequência desta pesquisa são detalhadas as etapas da cadeia de suprimentos do etanol.

5.2.2.1 Etapa Agrícola da Cadeia de Suprimentos do Etanol

Resumidamente, a etapa agrícola da cadeia de suprimentos do etanol engloba os seguintes processos: preparo do solo, plantio, colheita e transporte da cana-de-açúcar até a indústria.

A Figura 17, apresentada por EPE (2007), detalha esses processos, acrescentando aos mesmos a etapa de queimada.

Figura 17 - Fluxograma da etapa agrícola de uma cadeia de suprimentos do etanol

Fonte: Adaptado de EPE, 2007.

O primeiro processo dessa CS envolve o preparo do solo para o plantio das mudas da cana-de-açúcar. Para realizar tal procedimento, inicialmente, deve ser feita

a limpeza do solo, para assim, retirar os restos das culturas anteriores. Na sequência, realiza-se o nivelamento da área, com o objetivo de eliminar buracos e diminuir o declive do terreno. Finalmente, deve-se realizar a aragem e a gradagem, com o objetivo de diminuir a robustez do solo e facilitar a penetração das raízes (LOPES, 2012).

Após a preparação do solo, é iniciado o processo do plantio, que pode ser realizado de forma: a) semimecanizada, que compreende um conjunto de atividades manuais; b) mecanizada, que engloba desde a etapa de sulcação até a aplicação de fertilizantes (LOPES, 2012).

A terceira etapa, por sua vez, envolve a colheita da cana-de-açúcar. Esta, geralmente, abrange um ciclo que varia de 14 a 18 meses, sendo que, para a cana-soca, são necessários apenas 12 meses (LOPES, 2012).

Lopes (2012) menciona que a colheita pode ser realizada de forma manual ou mecanizada. No método manual são utilizados procedimentos que envolvem a queima prévia do canavial e o corte da cana por trabalhadores.

De acordo com a UDOP (2015), nos próximos anos, as unidades produtoras brasileiras devem rever seu processo de colheita, uma vez que leis ambientais obrigarão todos os produtores de bioenergia a mecanizarem completamente este processo, a fim de abolir a queimada dos canaviais e mitigar os efeitos prejudiciais de tal prática ao meio ambiente. Assim, a colheita mecanizada, que não usa mão de obra direta e não se utiliza de queimadas, ganhará importância.

O último processo dessa etapa compreende o transporte da cana-de-açúcar dos canaviais para as instalações industriais. Tradicionalmente, tal procedimento é realizado utilizando caminhões, de, aproximadamente, vinte toneladas. Ao ser entregue à usina, a cana-de-açúcar é destinada para a moagem, iniciando-se, então, o processo industrial (UDOP, 2015).

5.2.2.2 Etapa Industrial da Cadeia de Suprimentos do Etanol

De acordo com o estudo sobre o Potencial de Redução de Emissões de CO₂ em projetos de produção e uso de Biocombustíveis da EPE (2007), a fase industrial da cadeia de suprimentos do etanol engloba seis subprocessos, que são:

- a) o recebimento da cana;
- b) o processamento (extração do caldo);
- c) o tratamento do caldo;
- d) a fermentação;
- e) a destilação e retificação;
- f) a desidratação;

A Figura 18 ilustra um fluxograma padrão do processo produtivo de etanol, expondo os processos mencionados por EPE (2007), desde o recebimento da cana-de-açúcar da etapa agrícola até a destilação e desidratação do etanol.

Figura 18 - Fluxograma da etapa industrial de uma cadeia de suprimentos do etanol

Fonte: Adaptado de EPE, 2007.

Como é exposto na Figura 18, o primeiro processo da fase industrial envolve o recebimento da cana-de-açúcar dos canaviais, que serão lavadas para tirar a terra, a

poeira, a areia e outros tipos de impurezas que restaram da lavoura (NOVACANA, 2015).

Após a lavagem, inicia-se o processamento da cana-de-açúcar. Nessa etapa, caso a cana tenha sido colhida manualmente, ela deverá ser cortada em pedaços pequenos para facilitar a moagem. No caso da colheita mecanizada não existe tal necessidade, uma vez que a própria colhedora realiza esse trabalho (UDOP, 2015).

Na sequência, a cana é enviada às moendas onde é processada e triturada por rolos para extrair o caldo do interior das células; tal processo é repetido continuamente, para, assim, retirar cerca de 96% do açúcar contido na cana (UDOP, 2015). O resultado do procedimento de moagem é um líquido, que será utilizado no processo de fabricação do etanol (NOVACANA, 2015).

O terceiro processo dessa fase abrange o tratamento do caldo extraído na moagem. Esse procedimento, de acordo com a UDOP (2015) e o NovaCana (2015), é necessário para a fabricação do etanol e compreende:

- a) o aquecimento do caldo a temperaturas próximas a 105°C;
- b) a decantação, na qual o melado fica em repouso em um tanque, para que as impurezas se depositem no fundo do mesmo;
- c) o processo de pré-evaporação, em que um novo aquecimento a 115°C auxilia na evaporação da água, para que, assim, se atinja o grau de concentração ideal para dar continuidade ao processo produtivo. O emprego dessa última técnica é fundamental para a qualidade do produto, esterilizando bactérias e leveduras selvagens que atrapalhariam no processo de fermentação; ou seja, o caldo é aquecido para eliminar impurezas e microorganismos.

Após o tratamento do caldo, inicia-se o processo de fermentação, que abrange a transformação dos açúcares em etanol (NOVACANA, 2015; UDOP, 2015).

Esse procedimento tem duração de, aproximadamente, 7 horas e envolve a mistura do melado com um fermento composto por leveduras, que quebram as moléculas de glicose, produzindo etanol e gás carbônico. O produto resultado da

fermentação é conhecido como vinho ou vinho fermentado, e contém cerca de 9,5% - 10% de etanol (NOVACANA, 2015; UDOP, 2015).

Em seguida, o vinho é enviado às colunas de destilação, onde o etanol é separado, concentrado e purificado para atingir um percentual de, aproximadamente, 95% de graduação alcoólica (UDOP, 2015). De acordo com o Novacana (2015), em tal procedimento o vinho é aquecido e condensado, para, assim, se separar do etanol. Após tal etapa, finaliza-se o processo de obtenção do álcool hidratado, que é usado como combustível.

No entanto, a fase industrial ainda envolve o processo de desidratação, em que é produzido o álcool anidro, que tem graduação alcóolica de cerca de 99,5%, sendo utilizado na mistura da gasolina (NOVACANA, 2015).

Após passar pela destilação e desidratação, últimos processos da indústria, o etanol será transportado por meio de dutos aos tanques de armazenamento, que possuem, geralmente, capacidades de cinco, dez ou vinte mil metros cúbicos. Depois de armazenado, o etanol permanece nos tanques por tempo indeterminado, aguardando ser distribuído por caminhões-tanque para as bases de distribuição de combustíveis (UDOP, 2015).

5.2.2.3 Etapa de Distribuição da Cadeia de Suprimentos do Etanol

A terceira etapa da cadeia de suprimentos do etanol envolve a distribuição do mesmo até a base primária de armazenamento.

Atualmente, a matriz de transporte brasileira concentra-se, principalmente, no modal rodoviário, sendo que, cerca de 65,64% do total de produtos, é movimentado por meio de tal transporte (FLEURY, 2012).

A Tabela 11 ilustra a situação da matriz de transporte do país e compara-a com a de outros países e regiões.

Tabela 11 - Comparativo das matrizes de transporte em diversos países e regiões

Modal	Brasil (2008)	EUA (2008)	União Europeia (2008)	China (2007)
Rodoviário	65,6%	28,9%	46%	11,2%
Ferroviário	19,5%	38%	11%	23,5%
Hidroviário	1,77%	6,8%	4%	15,4%
Cabotagem	9,59%	4,6%	37%	48,0%
Dutoviário	3,8%	21,5%	3%	1,8%
Aéreo	0,05%	0,3%	0%	0,1%

Fonte: Fleury, 2012.

No estudo “Logística no Brasil: situação atual e transição para uma economia verde”, Fleury (2012) aponta, ainda, que a preferência pelo modal rodoviário interfere, diferentemente, na quantidade de gases de efeito estufa emitida, por ser ele o meio de transporte que mais emite GEE (FIGURA 19).

Assim, Fleury (2012) cita que a substituição do modal rodoviário por outros meios de transporte, como por exemplo, o ferroviário ou o hidroviário, poderia diminuir a emissão de GEE.

Figura 19 - Matriz de transporte e de emissões por modal no Brasil

Fonte: Fleury, 2012.

Apesar de ser o meio de transporte que mais emite GEE, Milanez *et al.* (2010) mencionam que o modal rodoviário é predominantemente usado no transporte de etanol; isso se deve, principalmente, ao baixo volume de carga e às rotas de transporte, que se caracterizam por serem curtas.

Tradicionalmente, as instalações industriais estão isoladas em regiões agrícolas onde não existem outras modalidades de transporte, devido à precariedade da infraestrutura desse setor no país. Nesse sentido, Milanez *et al.* (2010, p.66) apontam que:

[...] praticamente todo etanol deixa as usinas por meio de transporte rodoviário com destino direto às distribuidoras e portos. Em poucos casos, ocorrem as “pontas rodoviárias”, curtos trechos rodoviários até terminais de transbordo para outros modais de transporte.

Milanez *et al.* (2010) ainda apontam que a maior parte dos investimentos logísticos feitos nos últimos anos pelo setor do etanol concentram-se no sistema rodoviário, envolvendo, principalmente, a aquisição de novos equipamentos, com o intuito de aumentar a capacidade transportada de etanol.

5.2.3 Etapa 3: Identificação e coleta dos insumos e energéticos demandados por diferentes etapas da Cadeia de Suprimentos

A terceira etapa da metodologia REGEECS consiste no levantamento dos insumos e dos combustíveis (energéticos) envolvidos nos processos da cadeia de suprimentos.

Como mencionado no subcapítulo 4.1.3, a coleta de dados a respeito dos gases emitidos é responsabilidade de todas as empresas que pertencem à CS, uma vez que o resultado ótimo só deverá ser alcançado se todas as companhias envolvidas compartilharem informações úteis e precisas.

Dessa forma, nessa etapa serão identificados e contabilizados, nas métricas adequadas, os GEE emitidos na utilização de insumos químicos e industriais dentro da cadeia produtiva do produto, como, por exemplo, óleo diesel, fertilizantes, etc.

A cadeia de suprimentos de etanol foi dividida em três etapas:

- a) Agrícola: que se divide no manejo agrícola e no transporte do produto da lavoura até a usina;
- b) Industrial: que engloba a produção do etanol;
- c) Distribuição: que abrange o transporte do etanol até o destino final.

Os parâmetros de emissões serão calculados para uma cadeia de suprimentos que começa na cidade de Rio Brilhante, onde ocorrem os processos agrícola, industrial e inicia-se o processo de distribuição. Este último terá, como destino final, o porto de Santos, onde o etanol será destinado à exportação. Não serão considerados os processos de obtenção de insumos e matérias-primas utilizados no processo agrícola e na etapa de produção.

5.2.3.1 Etapa Agrícola da Cadeia de Suprimentos do Etanol

Para analisar e calcular as emissões de gases de efeito estufa na etapa agrícola da cadeia de suprimentos do etanol, optou-se, neste estudo, em dividi-la em dois processos distintos: o manejo agrícola, que engloba desde as emissões do solo até as emissões provenientes da queima do canavial e o transporte da cana-de-açúcar do canavial até as usinas.

5.2.3.1.1 Emissões de Gases de Efeito Estufa no Manejo Agrícola da Cana-de-Açúcar

O cálculo dos gases de efeito estufa emitidos no manejo agrícola da cana-de-açúcar são provenientes de quatro eventos diferentes (LOPES, 2012):

- a) emissões do solo, derivadas do uso de fertilizantes;

- b) emissões relacionadas ao uso de insumos químicos, tais como herbicidas e inseticidas;
- c) emissões devido ao consumo de óleo de diesel;
- d) emissões fruto do percentual de área colhida com o auxílio da queima do canavial.

Nesse sentido, as emissões do manejo agrícola podem ser descritas a partir da equação 1:

$$E_{man. agrícola} = E_{solo} + E_{ins. químicos} + E_{diesel} + E_{queima} \quad (1)$$

As emissões do solo podem ser calculadas a partir da equação 2:

$$E_{solo} = \frac{Qn * Fn}{Y * \lambda} \quad (2)$$

Onde as variáveis podem ser descritas da seguinte maneira:

- E_{solo} = emissões de gases de efeito estufa relacionadas com o uso de fertilizantes nitrogenados;
- Qn = quantidade consumida de Nitrôgeno em kg/ha/ano;
- Fn = fator de emissão de gases de efeito estufa, em kg CO_{2e}/ha, correspondente ao uso de Nitrôgeno;
- Y = produtividade média do plantio analisado;
- λ = eficiência da usina na conversão de cana-de-açúcar *in natura* em etanol.

Com base nos valores da RFA (2008 *apud* LOPES, 2012) e nas informações do proprietário da fazenda, este estudo adotou que a quantidade estimada de Nitrogênio consumida nos fertilizantes é de 56,3 kg/ha. Já o fator emissor desse gás

inerte é 6,163 kg CO_{2e}/ha. A produtividade média considerada é de 86,10. Já a eficiência de transformação de cana-de-açúcar em etanol é uma constante de 0,068.

Utilizando-se estes valores, obteve-se que, para a área analisada, houve a emissão de 59,264 kg de CO_{2e} / tonelada de etanol. A Tabela 12 ilustra os valores utilizados e a estimativa do total de emissões.

Tabela 12 - Emissões de gases de efeito estufa provenientes do solo

Emissões do solo		
Variáveis	Dados	Unidade
Qn	56,3	kg/ha
Fn	6,163	CO _{2e} /ha
Y	86,1	-
λ	0,068	-
Emissão total	59,264	kg de CO_{2e} / t etanol

Fonte: Elaborado pelo autor.

As emissões relacionadas com o uso dos insumos químicos podem ser calculadas utilizando-se a equação 3:

$$E_{ins. \text{ químicos}} = \frac{Q_i * F_i}{Y * \lambda} \quad (3)$$

As variáveis podem ser descritas da seguinte forma:

- E ins. químicos = emissões de gases de efeito estufa relacionadas com o uso de inseticidas, herbicidas, fósforo e potássio;
- Q_i = quantidade de insumos utilizados em kg/ha/ano;
- F_i = fator de emissão de gases de efeito estufa em kg CO_{2e}/kg;
- Y = produtividade média do plantio analisado;
- λ = eficiência da usina na conversão de cana-de-açúcar *in natura* em etanol.

Neste estudo considera-se o uso dos mesmos insumos mencionados por Lopes (2012), que são: o herbicida, o inseticida, o fósforo e o potássio. As quantidades estimadas consideradas foram fornecidas pelo proprietário da fazenda.

Assim, foi estimada a utilização nas seguintes proporções: 3,2 kg/ha de Herbicida; 0,5 kg/ha de Inseticida; 30,9 kg/ha de fósforo e 61,10 kg/ha de Potássio. Os fatores de emissão de tais insumos químicos foram obtidos no IPCC (2006) e são, respectivamente: 20,96 kg CO_{2e} / kg de herbicida; 21,90 kg CO_{2e} / kg de inseticida; 0,73 kg CO_{2e} / kg de fósforo, e; 0,54 kg CO_{2e} / kg de potássio.

Considerando que a eficiência de transformação e a produtividade média da região são os mesmos valores que os usados nos cálculos anteriores, obteve-se uma emissão de 106,214 kg de CO_{2e} / tonelada de etanol para este evento.

A Tabela 13 expõe as emissões provenientes do uso de insumos químicos.

Tabela 13 - Emissões de gases de efeito estufa provenientes do uso de insumos químicos

Emissões de insumos químicos		
Variáveis	Dados	Unidade
Qherb	3,2	kg/ha
Fherb	20,96	kg CO _{2e} / kg nutriente
Qins	0,5	kg/ha
Fins	21,9	kg CO _{2e} / kg nutriente
Qfos	30,9	kg/ha
Ffos	0,73	kg CO _{2e} / kg nutriente
Qpot	61,1	kg/ha
Fpot	0,54	kg CO _{2e} / kg nutriente
Y	86,1	-
λ	0,068	-
Emissão total	106,214	kg de CO_{2e} / t etanol

Fonte: Elaborado pelo autor.

As emissões provenientes do uso de óleo diesel, por sua vez, são calculadas utilizando a equação 4:

$$E_{diesel} = \frac{Qd * Fd}{Y * \lambda} \quad (4)$$

As variáveis podem ser descritas da seguinte forma:

- E_{diesel} = emissões de gases de efeito estufa relacionadas com a quantidade de óleo diesel utilizado no manejo agrícola;
- Qd = quantidade de óleo diesel utilizado em l/ha/ano;
- Fd = fator de emissão de gases de efeito estufa do uso de óleo diesel em kg CO_{2e}/l;
- Y = produtividade média do plantio analisado;
- λ = eficiência da usina na conversão de cana-de-açúcar *in natura* em etanol.

Nesta pesquisa adotou-se que a quantidade de óleo diesel utilizado na colheita foi de 273,5 l/ha/ano. O fator de emissão usado foi de 3,0874 kg CO_{2e}/l diesel, valor fornecido pela RFA (2008 *apud* LOPES, 2012).

A eficiência de transformação e a produtividade média da região são os mesmos valores que aqueles utilizados nos cálculos das emissões anteriores. Para tais valores, a emissão com a utilização de óleo diesel no manejo agrícola foi de 144,224 kg CO_{2e}/ tonelada de etanol.

A Tabela 14 demonstra as emissões provenientes do uso de óleo diesel no manejo agrícola.

Tabela 14 - Emissões de gases de efeito estufa provenientes do uso de óleo diesel

Emissões de óleo diesel		
Variáveis	Dados	Unidade
Qd	273,5	l/ha/ano
Fd	3,0874	kg CO _{2e} /l diesel
Y	86,1	-
λ	0,068	-
Emissão total	144,224	kg de CO_{2e} / t etanol

Fonte: Elaborado pelo autor.

Já as emissões derivadas do uso de queimadas no canavial podem ser obtidas a partir da equação 5:

$$E_{queima} = \frac{Qq * Fq * \mu}{\lambda} \quad (5)$$

Onde as variáveis podem ser descritas da seguinte forma:

- E queima = emissões de gases de efeito estufa relacionadas com a quantidade do canavial queimada;
- Qq = quantidade de matéria orgânica que é queimada antes da colheita;
- Fq = fator de emissão de gases de efeito estufa da emissão de N₂O e de CH₄ durante a queima do canavial;
- μ = percentual da área analisada em que acontece colheita manual com queima prévia do canavial;
- λ = eficiência da usina na conversão de cana-de-açúcar *in natura* em etanol.

Com base em Macedo (2007 *apud* Lopes, 2012), este estudo adotou que a quantidade de matéria orgânica queimada antes da colheita é de 140 kg por tonelada de cana-de-açúcar. Os fatores de emissão de N₂O e CH₄ são fornecidos pela RFA

(2008 *apud* Lopes, 2012), e equivalem, respectivamente, a 0,022 kg CO_{2e} / kg lixo queimado e 0,0585 kg CO_{2e} / kg lixo queimado.

O percentual considerado de área em que acontece colheita manual com queima prévia do canavial é 20%, conforme informações do proprietário da fazenda. Já a eficiência de transformação de cana-de-açúcar em etanol é 0,068, valor da metodologia RTFO.

Assim, utilizando tais valores, obteve-se que as emissões fruto de queimadas equivalem a 33,147 kg CO_{2e}/tonelada de etanol. A Tabela 15 expõe os valores considerados para o cálculo de tal emissão.

Tabela 15 - Emissões de gases de efeito estufa provenientes de queimadas

Emissões de queimada		
Variáveis	Dados	Unidade
Qq	140	kg / tonelada de cana-de-açúcar
Fq	0,0805	kg CO _{2e} / kg lixo queimado
μ	0,2	-
λ	0,068	-
Emissão total	33,147	kg de CO_{2e} / t etanol

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando-se todas as emissões (solo, insumos químicos, óleo diesel e queimada) auferiu-se um valor de 342,849 kg CO_{2e} / tonelada de etanol.

5.2.3.1.2 Emissões de Gases de Efeito Estufa no Transporte da Cana-de-Açúcar até a Usina

O cálculo dos gases de efeito estufa emitidos no transporte da cana-de-açúcar da lavoura até a usina envolve quatro variáveis distintas: a) a distância, em quilômetros, entre o canavial e a indústria; b) o consumo de energia do caminhão

utilizado; c) o fator de emissão para a energia consumida; d) a eficiência de conversão de cana-de-açúcar *in natura* em etanol combustível.

Resumidamente, o cálculo pode ser expressado pela equação 6:

$$Et = \frac{(2*D)*\pi*F\pi}{\lambda} \quad (6)$$

Onde as variáveis podem ser descritas:

- Et = emissões de gases de efeito estufa relacionadas com o transporte da cana-de-açúcar entre a lavoura e a usina;
- D = distância média percorrida entre a lavoura e a usina;
- π = consumo de energia do caminhão utilizado no transporte entre a lavoura e a usina;
- $F\pi$ = fator de emissão de gases de efeito estufa do consumo energético;
- λ = eficiência da usina na conversão de cana-de-açúcar *in natura* em etanol.

Nesta pesquisa estimou-se que a distância média entre a lavoura e a usina é de 25 quilômetros; para uma análise mais precisa, adotou-se que tal distância é percorrida duas vezes: uma com o caminhão carregado e outra com o veículo vazio.

O consumo de energia adotado é o definido por Macedo, Leal e Silva (2004) para um caminhão Mercedes-Benz modelo MB 2318, que transporta 15 toneladas do produto e possui um consumo médio de 2,2 km por litro.

No entanto, para se utilizar a metodologia RTFO, é necessário converter tal valor para consumo de energia, que utiliza megajoule por uma tonelada de cana-de-açúcar por quilômetro como unidade de medida.

Para calcular esse valor, utilizou-se a densidade do óleo diesel determinada pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (2011), que é 0,8520 t/m³ ou 0,8520 kg/l. Esta densidade foi convertida, na sequência, para megajoule, utilizando-se o poder calorífico inferior (PCI) do óleo diesel, que é de 10.100 kcal ou 42,28 MJ por kg de diesel.

Ponderando estes valores, apurou-se que o caminhão modelo MB 2318 consome, para cada litro de óleo diesel, 36,02 MJ.

A equação 7 expõe os cálculos de conversão.

$$\text{Consumo de Energia} = 42,28 \frac{\text{MJ}}{\text{kg diesel}} * 0,852 = 36,02 \frac{\text{MJ}}{\text{litro diesel}} \quad (7)$$

Para se determinar o consumo de energia por quilômetro, dividiu-se o valor encontrado na equação 7 pelo consumo médio de óleo diesel do caminhão analisado, obtendo-se 16,37 MJ/km.

Na sequência, esse valor foi convertido para tonelada de cana-de-açúcar transportada pelo veículo. Obteve-se que o consumo de energia estimado para o caminhão modelo MB 2318 foi de 1,092 MJ / tonelada de cana-de-açúcar / km.

O fator de emissão utilizado neste estudo foi estipulado pelo IPCC (1996 *apud* Álvares Jr. e Linke, 2001) para veículos pesados movidos a diesel, no valor de 74 g CO_{2e}/MJ ou 0,074 kg CO_{2e}/MJ.

Considerou-se, conforme já mencionado, que a eficiência de transformação de cana-de-açúcar em etanol é uma constante de 0,068. Este valor é proveniente da metodologia RTFO e considera a quantidade de cana-de-açúcar usada para produzir uma tonelada de etanol.

Assim, para uma distância média de 25 quilômetros, a emissão por tonelada de cana-de-açúcar transportada é de 59,395 kg de CO_{2e} / tonelada de etanol.

A Tabela 16 mostra os valores utilizados para calcular as emissões dessa etapa, juntamente com o resultado obtido.

Tabela 16 - Emissões de gases de efeito estufa provenientes do transporte até a usina

Variáveis	Dados	Unidade
Distância	25	km
π	1,092	MJ/t de cana-de-açúcar
$F\pi$	0,074	kg de CO _{2e} /MJ
λ	0,068	-
Emissão total	59,395	kg de CO_{2e} / t etanol

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.3.2 Etapa Industrial da Cadeia de Suprimentos do Etanol

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (EPE, 2007) e Macedo, Leal e Silva (2004), os principais insumos químicos e lubrificantes utilizados na etapa industrial da cadeia de suprimentos de etanol são: a) o ácido sulfúrico (H₂SO₄); b) o anidro de ciclohexeno (C₆H₁₀); c) o hidróxido de sódio (NaOH); d) lubrificantes; e) cal virgem (CaO).

Souza (2010) complementa tais informações, mencionando que, somente a cal virgem e o ácido sulfúrico equivalem em torno de 90% dos insumos utilizados. Dessa forma, considerando a falta de informações fidedignas acerca da quantidade usada na produção, este estudo somente considera os seguintes insumos no cálculo das emissões de gases de efeito estufa da etapa industrial: a) o ácido sulfúrico; b) cal virgem.

Assim, para se calcular as emissões de gases de efeito estufa utilizou-se a equação 8:

$$E_{\text{industrial}} = Q_{\text{ins. químicos}} * F_{\text{ins. químicos}} \quad (8)$$

Onde as variáveis podem ser descritas:

- E industrial = emissões de gases de efeito estufa relacionadas com a produção de etanol;
- Q ins. químicos = quantidade de insumos químicos utilizados na produção em kg/tonelada de etanol;
- F ins. químicos = fatores de emissão de gases de efeito estufa dos insumos utilizados em kg CO_{2e}/kg do nutriente.

A Tabela 17 expõe a quantidade de insumos químicos utilizados na produção de etanol de acordo com Macedo, Leal e Silva (2004) e o Ministério de Minas e Energia (EPE, 2007).

Tabela 17 - Quantidade de insumos químicos utilizados na etapa industrial da cadeia de suprimentos do etanol

Insumos	Quantidade	Unidade
Cal Virgem (CaO)	930	g / tonelada de cana-de-açúcar
Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	9,05	g / litro de etanol

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando a Tabela 17, é possível perceber que as quantidades dos insumos devem ser transformadas para serem utilizadas na fórmula de cálculo das emissões da etapa industrial.

Para se calcular os novos valores, considerou-se, neste estudo, que uma tonelada de cana-de-açúcar formou, na safra 2013/2014 da região Centro-Sul, 43,03 litros de etanol (UNICA, 2014). Ainda se estimou, a partir de dados do NovaCana (2016), que a densidade do etanol puro é de 0,789 g/cm³ ou 789 kg/m³.

Com tais valores, foi possível calcular a relação de etanol produzida em cada tonelada de etanol. Após os cálculos expostos na equação 9, encontrou-se o valor de 1267,42 litros de etanol.

$$D = \frac{m}{v} \Rightarrow \frac{789kg}{m^3} = \frac{1000kg}{V} \Rightarrow 1267,42 \text{ litros de etanol (9)}$$

Ainda utilizando os mesmos valores, calculou-se quantas toneladas de etanol tem-se em 43,03 litros do produto ou em 1 tonelada de cana-de-açúcar. Encontrou-se, como exposto na equação 10, que para cada tonelada de cana-de-açúcar tem-se 0,03395 toneladas de etanol.

$$x = \frac{1t \cdot 43,03 \text{ litros}}{1267,42 \text{ litros}} \Rightarrow 0,03395 \text{ toneladas de etanol (10)}$$

Considerando os valores encontrados, foi possível transformar a quantidade de cal virgem e de ácido sulfúrico levando em conta as unidades usadas, para calcular a quantidade de gases de efeito estufa emitidos.

As equações 11 e 12 expõem as conversões dos insumos.

$$\text{cal virgem} = \frac{930 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{0,03395 \text{ t etanol}} \Rightarrow 27,3932 \frac{\text{kg}}{\text{t etanol}} \text{ (11)}$$

$$\text{ácido sulfúrico} = \frac{9,05 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{0,000789 \text{ t etanol}} \Rightarrow 11,4702 \frac{\text{kg}}{\text{t etanol}} \text{ (12)}$$

A Tabela 18 expõe a quantidade e os fatores de emissão dos insumos químicos convertidos.

Tabela 18 - Quantidade convertida de insumos químicos utilizados na etapa industrial da cadeia de suprimentos do etanol e os seus fatores de emissão

Insumos	Quantidade	Unidade	Fatores	Unidade
Cal Virgem (CaO)	27,3932	kg / tonelada de etanol	0,88	Kg CO _{2e} /kg
Ácido sulfúrico (H₂SO₄)	11,4702	kg / tonelada de etanol	0,34	Kg CO _{2e} /kg

Fonte: Souza, 2010.

Considerando as quantidades consumidas e os fatores de emissão de cada insumo químico, encontrou-se que, durante a etapa industrial, foi emitido 28,0059 kg de CO_{2e} / tonelada de etanol.

A Tabela 19 ilustra os valores utilizados para o cálculo das emissões da etapa industrial, juntamente com o resultado encontrado.

Tabela 19 - Emissões de gases de efeito estufa provenientes da etapa industrial

Emissões de insumos químicos		
Variáveis	Dados	Unidade
Q CaO	27,3932	kg / tonelada de etanol
F CaO	0,88	kg CO _{2e} / kg nutriente
Q H ₂ SO ₄	11,4702	kg / tonelada de etanol
F H ₂ SO ₄	0,34	kg CO _{2e} / kg nutriente
Emissão total	28,0059	kg de CO_{2e} / t etanol

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.3.3 Etapa de Distribuição da Cadeia de Suprimentos do Etanol

Após a etapa industrial, o etanol está pronto para ser distribuído. Como mencionado no item 5.2.2.3, o modal rodoviário é o mais utilizado para a distribuição deste produto. Por essa razão, neste estudo, é considerado somente este meio de transporte.

O trajeto considerado inicia-se no estado do Mato Grosso do Sul, tendo o porto de Santos como o destino final da distribuição. Cabe salientar que o transporte marítimo até o país comprador não é objeto de análise deste estudo. Assim, não são calculados os GEE emitidos nesta etapa logística.

Para se calcular os gases de efeito estufa emitidos na distribuição do etanol até o porto de Santos foi utilizada uma distância de 1130 km, considerando o uso, principalmente, da rodovia BR-267 (FIGURA 20).

Figura 20 - Gráfico e Informações acerca da distância entre a usina e o porto de Santos

Fonte: Google Maps, 2016.

O cálculo dos gases de efeito estufa emitidos na distribuição da cana-de-açúcar da usina até o porto de Santos envolve três variáveis distintas: a) a distância, em quilômetros, entre a indústria e o destino; b) o consumo de energia do caminhão utilizado; c) o fator de emissão para a energia consumida.

Assim, o cálculo pode expressado pela equação 13:

$$Ed = (2 * D) * \pi * F\pi \quad (13)$$

Onde as variáveis podem ser descritas:

- E_d = emissões de gases de efeito estufa relacionadas com o transporte do etanol da usina até o destino;
- D = distância média percorrida entre a usina e o destino final;
- π = consumo de energia do caminhão utilizado no transporte entre a usina e o ponto de destino;
- $F\pi$ = fator de emissão de gases de efeito estufa do consumo energético;

Tanto o consumo de energia do caminhão, quanto o fator de emissão deste energético são os mesmos que os adotados no transporte entre a lavoura e a usina. Dessa forma, considerou-se que o caminhão modelo MB 2318 consome 1,092 MJ para transportar uma tonelada de etanol e possui um valor de emissão de 0,074 kg de CO_{2e}/MJ.

Considerando-se tais valores, para transportar o etanol da usina em Rio Brilhante até o porto de Santos são emitidos 182,557 kg de CO_{2e} / tonelada de etanol.

A Tabela 20 expõe os valores utilizados para encontrar tal resultado.

Tabela 20 - Emissões de gases de efeito estufa provenientes da etapa de distribuição

Variáveis	Dados	Unidade
Distância	1130	km
π	1,092	MJ/t de etanol
$F\pi$	0,074	kg de CO _{2e} /MJ
Emissão total	182,557	kg de CO_{2e} / t etanol

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.3.4 Resumo das Emissões de Gases de Efeito Estufa da Cadeia de Suprimentos de Etanol

A Tabela 21 expõe, resumidamente, as emissões de cada etapa da cadeia de suprimentos do etanol analisada neste estudo.

Tabela 21 - Emissão de gases de efeito estufa em cada etapa da cadeia de suprimentos do etanol analisada

Etapa	Emissão	Unidade
Manejo Agrícola	342,849	kg CO _{2e} / tonelada de etanol
Transporte Agrícola	59,395	kg CO _{2e} / tonelada de etanol
Produção	28,0059	kg CO _{2e} / tonelada de etanol
Distribuição	182,557	kg CO _{2e} / tonelada de etanol
Emissão total	612,807	kg CO_{2e} / tonelada de etanol

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.4 Etapas 4 e 5: Revisão das etapas anteriores e Mapeamento dos processos menos eficientes da Cadeia de Suprimentos

A quarta etapa da metodologia proposta envolve a revisão dos estágios prévios. Assim, como as etapas anteriores foram feitas baseando-se em fontes primárias e secundárias fidedignas, não existe a necessidade de revisão dos valores encontrados.

Já a quinta etapa da metodologia compreende a determinação dos processos menos eficientes da cadeia de suprimentos de etanol analisada, quanto à emissão de gases de efeito estufa.

A partir da Tabela 21, é possível notar que os processos do manejo agrícola e da distribuição são os menos eficientes, sendo o primeiro, o maior responsável pela maior emissão de GEE da CS analisada.

5.2.5 Etapa 6: Elaboração, análise e escolha das propostas com o emprego de TI e TA para a redução de emissão de GEE

A sexta etapa da metodologia proposta por esta pesquisa envolve desde a elaboração até a escolha da alternativa selecionada para reduzir a emissão de gases de efeito estufa.

Como exposto na Figura 16 do item 5.1.6, esta etapa envolve três subprocessos. Inicialmente, a empresa foco deve, após determinar qual o processo menos eficiente de sua cadeia de suprimentos, elaborar alternativas que diminuam o impacto do mesmo.

A cadeia de suprimentos de etanol analisada tem o manejo agrícola como o processo menos eficiente em relação à emissão de GEE. No entanto, o total emitido nessa etapa da CS é resultado da soma das emissões provenientes do solo, dos insumos químicos, do uso de óleo diesel e da queima do canavial.

Assim, quando estas emissões são analisadas individualmente, elas não compreendem mais o processo menos eficiente. Devido a isto, esta pesquisa considera distribuição como o procedimento mais ineficiente. Nesse sentido, entende-se que as propostas elaboradas devem se concentrar nele.

A Tabela 22 expõe a comparação entre as emissões das Etapas do Manejo Agrícola e da Distribuição

Tabela 22 - Comparação entre as emissões das etapas do manejo agrícola e da distribuição

Etapa	Emissão	Unidade
Emissões do Solo	59,264	kg CO _{2e} / tonelada de etanol
Emissões de Insumos Químicos	106,214	kg CO _{2e} / tonelada de etanol
Emissões de Óleo Diesel	144,224	kg CO _{2e} / tonelada de etanol
Emissões de Queimada	33,147	kg CO _{2e} / tonelada de etanol
Distribuição	182,557	kg CO _{2e} / tonelada de etanol

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando os referenciais teóricos expostos no decorrer deste estudo e as características da CS analisada, acredita-se que os valores de emissão encontrados na distribuição de etanol são resultados, principalmente: a) do modal utilizado para o transporte; b) da distância entre a usina e o porto utilizado para exportação; c) do consumo de energia do combustível.

Assim, propõe-se quatro alternativas para que os valores de emissão sejam reduzidos:

- a) 1ª Proposta - Substituição do modal utilizado: como ilustrado na Figura 19 do item 5.2.2.3, o modal rodoviário é o meio de transporte com maior índice de emissão de gases de efeito estufa. Assim, a simples troca do meio de transporte poderá resultar na redução dos GEE emitidos. No entanto, essa alternativa só será viável caso exista uma infraestrutura disponível para locomoção do etanol;
- b) 2ª Proposta - Substituição da frota de caminhões utilizada: ao longo dos últimos anos, a criação de leis reguladoras e fiscalizatórias fizeram as montadoras automobilísticas desenvolverem modelos de veículos que poluem menos o meio ambiente. Dessa forma, a substituição da frota de caminhões usada por modelos mais novos, que utilizem tecnologias e equipamentos modernos, é uma alternativa possível para diminuir a emissão de gases da cadeia de etanol;
- c) 3ª Proposta - Substituição do combustível utilizado: de acordo com Macedo, Leal e Silva (2004), a substituição da gasolina ou do óleo diesel, combustíveis fósseis geralmente utilizados, pode auxiliar na redução das emissões de gases de efeito estufa. Assim, a terceira alternativa para diminuir os GEE emitidos na distribuição da cadeia de suprimentos envolve o uso de um combustível renovável ou quase renovável, como por exemplo, o próprio etanol ou biodiesel;
- d) 4ª Proposta - Uso de um Sistema Inteligente de Navegação: a quarta proposta compreende a utilização de um Sistema Inteligente de Navegação (SIN), que, com o emprego da Tecnologia da Automação e da Tecnologia de Informação, auxilie o motorista do caminhão a encontrar e utilizar rotas com menos tráfego e que diminuam a distância rodada até o destino selecionado. Além disso, tal sistema também pretende reduzir a quantidade de combustível consumido, auxiliando que o condutor do veículo mantenha uma velocidade ideal para diminuir o consumo de energia do combustível e, conseqüentemente, colabore

para redução da emissão de GEE. De acordo com a Scania (2016) e a Iveco (2016), a condução em velocidade ótima e sem grandes acelerações pode economizar em, até, 10% do combustível utilizado ou aumentar a distância rodada por litro em, até, 0,5 km/l.

Arruda Júnior (2014) menciona que a técnica denominada *target driving* ou *driving with load* auxilia na redução do consumo de combustível. O objetivo dessa técnica é:

se manter sempre dentro dessa faixa, evitando, sempre que possível, flutuações de consumo, abaixo ou acima. Esta técnica faz com que se acumule mais energia cinética (velocidade) durante as descidas, onde as resistências são menores e, conseqüentemente, as perdas, para gastá-la durante a subida (ARRUDA JÚNIOR, 2014, p.54).

Assim, o Sistema Inteligente de Navegação, exposto na quarta proposta, se implementado, auxiliará o condutor a manter-se próximo da velocidade ideal, considerando sempre um limite superior e inferior para variações ao longo do trajeto.

Após a elaboração das alternativas para solucionar a situação enfrentada, deve-se analisá-las, ponderando aspectos operacionais e financeiros das mesmas. Observando tais parâmetros, e, ao mesmo tempo, considerando a abrangência deste estudo, que estabelece o uso da tecnologia de informação e/ou da tecnologia da automação para reduzir a emissão de gases, conclui-se que a quarta proposta exposta é a melhor alternativa para diminuir os GEE da cadeia de suprimentos de etanol analisada.

Entende-se que as propostas de substituição do modal, da mudança da frota de caminhões e da troca do combustível só podem ser colocadas em prática por meio de decisões estratégicas, que não estão dentro do escopo desta pesquisa. Assim, independentemente dos benefícios e vantagens - operacionais, financeiros e ambientais - que possam ser proporcionados, para este estudo a quarta sugestão é a única opção viável.

Apesar da implementação só ocorrer na nona etapa, para que tal procedimento seja realizado com sucesso é necessário definir a arquitetura de *hardware* e *software* que serão usados.

A arquitetura de *hardware* do sistema de navegação inteligente proposto será composta por:

- a. Satélite *Global Positioning System* (GPS): utilizado para estabelecer a posição, latitude e longitude do veículo;
- b. Módulo GPS transmissor com uma antena: capta informações a respeito da velocidade e localização do caminhão e as transmite via redes de celular - redes GSM/GPRS - para o servidor (ARRUDA JUNIOR, 2014);
- c. Antena GPRS: utilizada para a comunicação e a transmissão de dados entre o módulo GPS, o Monitor e o Servidor;
- d. Monitor: informa a localização, a velocidade e dá *feedbacks* ao usuário acerca dos parâmetros definidos;
- e. Servidor: fica localizado no Centro de Controle Inteligente de Navegação (CCIN) e é responsável por receber informações providas pelos módulos GPS de todos os veículos utilizados no transporte. Além disso, ele envia os *feedbacks* e os alertas aos caminhoneiros;

A Figura 21 ilustra a infraestrutura de *hardware* do sistema de navegação inteligente.

Figura 21 - Arquitetura de *hardware* do Sistema de Navegação Inteligente

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que a arquitetura de *hardware*, apresentada na figura 21, também poderá empregar a tecnologia de “*cloud computing*”. Nesse caso, a estrutura apresentada terá pequenas modificações, como, por exemplo, o eventual suprimimento do servidor da empresa.

Já a arquitetura de *software* será estruturada em 4 módulos:

- a) Módulo Identificador de Veículos (MIV): esse módulo recebe informações do módulo GPS, tais como posicionamento (latitude e longitude) e velocidade, entre outras. Estas são transmitidas para os módulos de Análise de Dirigibilidade e de Condições de Rodagem. Além disso, o módulo recebe informações históricas do veículo e do condutor analisado, provenientes de um Banco de Dados, que, por sua vez, é alimentado pelo Módulo Decisor de Rotas e Dirigibilidade;

- b) Módulo de Análise de Dirigibilidade (MAD): esse módulo recebe informações a respeito da condução do veículo, mais precisamente da velocidade do caminhão. Ele ainda fornece dados para o Módulo Decisor de Rotas e Dirigibilidade;
- c) Módulo de Condições de Rodagem (MCR): esse módulo recebe informações sobre o posicionamento do veículo. Além disso, ele também recebe informações a respeito das rotas e do tráfego. Ele ainda fornece dados para o Módulo Decisor de Rotas e Dirigibilidade;
- d) Módulo “*Advisor*” ou Módulo Decisor de Rotas e Dirigibilidade (MDR): esse módulo tem a função de fornecer diretrizes ao condutor do veículo, a respeito da velocidade cruzeiro e/ou da rota a ser utilizada. Para isso, ele recebe informações do Módulo de Análise de Dirigibilidade e do Módulo de Condições de Rodagem, que são processadas de acordo com parâmetros pré-estabelecidos sobre a velocidade ideal e o limites aceitáveis, a distância e o tempo máximo aceitável. Na sequência, ele envia as diretrizes ao veículo. Além dessas funções, esse módulo envia as informações coletadas para um banco de dados, que virá a ser consultado pelo Módulo Identificador de Veículos.

A Figura 22 ilustra a arquitetura de *software* do Sistema de Navegação Inteligente.

Figura 22 - Infraestrutura de *software* do Sistema de Navegação Inteligente

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.6 Etapa 7: Estimativa da emissão de GEE da Cadeia de Suprimentos

Após escolher a alternativa na sexta etapa, deve ser feita uma nova medição do nível de GEE emitidos nos processos da cadeia de suprimentos de etanol analisada.

A proposta escolhida foi aquela que envolve o uso de um sistema de navegação inteligente, com duas funções básicas: a) auxiliar o condutor a encontrar e utilizar melhores rotas, para, assim, reduzir a distância entre a usina e o porto de Santos; b) auxiliar o motorista a manter uma velocidade ótima, idealizada pela montadora, para economizar combustível.

Nesse sentido, as medições feitas nessa etapa dividem-se em três itens. Primeiramente, são expostos os resultados obtidos somente com o uso do GPS para reduzir rotas. Na sequência, são demonstrados os valores alcançados com a redução de combustível, por meio de uma direção em uma velocidade constante. Finalmente, são ilustrados os resultados atingidos quando as duas situações anteriores acontecem, concomitantemente.

5.2.6.1 Estimativas para a situação com o uso do GPS

A primeira situação analisada envolve somente o uso do GPS. Entende-se que a sua utilização pode auxiliar na redução da distância entre a usina (ponto de origem) e o porto de Santos (ponto de destino).

Como a fórmula para se calcular a emissão de gases de efeito estufa (EQUAÇÃO 13) engloba a distância percorrida no trajeto de ida e volta do porto, acredita-se que uma eventual redução da mesma trará, como consequência, a redução dos GEE emitidos.

Para efeitos de cálculos, criaram-se três cenários diferentes:

- a. Pessimista: no qual não existe redução nos trajetos;
- b. Moderado: no qual há uma redução de 3% na distância total do trajeto;
- c. Otimista: em que existe uma minimização de 5% do total percorrido pelo caminhão.

É importante ressaltar que, para efeitos de cálculos, não foi considerado o tempo levado para completar o trajeto.

No cenário pessimista, como não há alterações na distância e no consumo de combustível, o resultado obtido foi o mesmo que aquele alcançado nas medições prévias (TABELA 23).

Tabela 23 - Resultados obtidos com o uso do GPS no cenário pessimista

Variáveis	Dados	Unidade
Distância	1130	km
π	1,092	MJ/t de etanol
$F\pi$	0,074	kg de CO _{2e} /MJ
Emissão total	182,557	kg de CO_{2e} / t etanol

Fonte: Elaborado pelo autor.

Já no cenário moderado, no qual há uma redução de 3% na distância percorrida, a emissão de GEE também foi minimizada. O resultado alcançado foi de 177,240 kg de CO_{2e} por tonelada de etanol transportado, como exposto na Tabela 24.

Tabela 24 - Resultados obtidos com o uso do GPS no cenário moderado

Variáveis	Dados	Unidade
Distância	1097,087	km
π	1,092	MJ/t de etanol
$F\pi$	0,074	kg de CO _{2e} /MJ
Emissão total	177,240	kg de CO_{2e} / t etanol

Fonte: Elaborado pelo autor.

Finalmente, no terceiro cenário simulado, em que existe uma redução de 5% da distância percorrida, também houve uma redução na quantidade de gases de efeito estufa emitidos no processo de distribuição. Foi alcançado um valor de 173,864 kg de CO_{2e} por tonelada de etanol transportado, como expõe a Tabela 25.

Tabela 25 - Resultados obtidos com o uso do GPS no cenário otimista

Variáveis	Dados	Unidade
Distância	1076,190	km
π	1,092	MJ/t de etanol
$F\pi$	0,074	kg de CO _{2e} /MJ
Emissão total	173,864	kg de CO_{2e} / t etanol

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.6.2 Estimativas para a situação com uma condução sem variações de velocidade

A segunda situação analisada envolve o uso do Sistema Inteligente de Navegação para auxiliar o condutor do veículo a manter a velocidade do caminhão dentro de um limite - superior e inferior -. Assim, acredita-se que haverá uma redução do consumo de combustível e, conseqüentemente, da emissão de gases de efeito estufa.

Para que isso ocorra, o Sistema Inteligente de Navegação proposto medirá a velocidade do caminhão; caso esta esteja fora dos limites pré-estabelecidos, será emitido um alerta para o condutor, que receberá o mesmo no monitor instalado dentro do veículo.

Essa situação baseia-se na ideia exposta pela Scania (2016) e pela Iveco (2016), que apontam que a condução otimizada pode reduzir em, até, 10% do consumo de combustível ou aumentar sua autonomia em, até, 0,5 km / l.

Considerando tal situação, foram simulados três cenários diferentes:

- Pessimista: no qual não existe redução do combustível utilizado;
- Moderado: em que há uma melhora de 5% do óleo diesel utilizado no trajeto da usina até o porto de Santos;
- Otimista: no qual há uma redução de 10% do consumo de combustível usado no trajeto da usina até o porto de Santos.

Para efeito de análise, considerou-se o uso de três caminhões com modelos distintos: a) Mercedes-Benz 2318; b) Ford Cargo 1933; c) Mercedes-Benz Axor 1933.

A primeira situação simulada envolveu o uso do mesmo caminhão, modelo MB 2318, utilizado nas medições anteriores. Como já mencionado, esse veículo possui uma capacidade estimada para transportar, aproximadamente, 15.000 litros de etanol e possui consumo de 2,2 km / l ou 1,092 MJ / por tonelada de etanol.

A Tabela 26 expõe os resultados obtidos. Nela é possível perceber que somente no cenário pessimista não há uma redução na emissão de GEE.

Tabela 26 - Resultados obtidos com o uso do caminhão modelo MB 2318

Cenário	Variáveis	Dados	Unidade
Pessimista (0%)	Distância	1130	km
	π	1,092	MJ/t de etanol
	$F\pi$	0,074	kg de CO _{2e} /MJ
	Total de emissão	182,557	kg de CO_{2e} / t etanol
Moderado (5%)	Distância	1130	km
	π	1,040	MJ/t de etanol
	$F\pi$	0,074	kg de CO _{2e} /MJ
	Total de emissão	173,864	kg de CO_{2e} / t etanol
Otimista (10%)	Distância	1130	km
	π	0,992	MJ/t de etanol
	$F\pi$	0,074	kg de CO _{2e} /MJ
	Total de emissão	165,961	kg de CO_{2e} / t etanol

Fonte: Elaborado pelo autor.

A segunda situação simulada envolve o uso de um veículo mais novo, o caminhão modelo Ford Cargo 1933, que, de acordo com a revista ASSOBEANS (2012), possui um consumo médio de 2,4 km / litro.

Para efeito de cálculos, tal valor teve que ser transformado para uma medida que representasse o seu consumo de energia. Utilizou-se nas contas, um óleo diesel com densidade de 0,8520 t/m³ ou 0,8520 kg / l (ANP, 2011), o que, após conversão, representou um consumo de 36,02 MJ para cada litro de óleo diesel utilizado.

Para encontrar o consumo por tonelada, esse valor foi ponderado com o consumo de combustível e, na sequência, pela quantidade estimada que irá transportar. Considerando tais ponderações, demonstrou-se que o caminhão modelo Ford Cargo 1933 consome 1,001 MJ por tonelada de etanol transportado.

A equação 14 expõe os cálculos de conversão.

$$Cons. Energ. Ford 1933 = 36,02 \frac{MJ}{litro\ diesel} \div 2,4 \frac{km}{litro} \div 15 = 1,001 \frac{MJ}{ton\ etanol} \quad (14)$$

Considerando tal valor, obteve-se que, em todos os cenários, a emissão foi inferior àquela encontrada na situação original.

A Tabela 27 expõe os resultados obtidos.

Tabela 27 - Resultados obtidos com o uso do caminhão modelo Ford Cargo 1933

Cenário	Variáveis	Dados	Unidade
Pessimista (0%)	Distância	1130	km
	π	1,001	MJ/t de etanol
	$F\pi$	0,074	kg de CO _{2e} /MJ
	Total de emissão	167,345	kg de CO _{2e} / t etanol
Moderado (5%)	Distância	1130	km
	π	0,953	MJ/t de etanol
	$F\pi$	0,074	kg de CO _{2e} /MJ
	Total de emissão	159,376	kg de CO _{2e} / t etanol
Otimista (10%)	Distância	1130	km
	π	0,910	MJ/t de etanol
	$F\pi$	0,074	kg de CO _{2e} /MJ
	Total de emissão	152,132	kg de CO _{2e} / t etanol

Fonte: Elaborado pelo autor.

Finalmente, a terceira situação simulada envolve o uso do caminhão tipo MB Axor 1933, que, de acordo com a ASSOBE (2012), consome, em média, 2,6 km / litro. Esse valor foi transformado, utilizando o mesmo procedimento usado para o modelo Ford Cargo 1933. Após os cálculos, obteve-se o dado que este veículo consome, de energia, em média, 0,924 por tonelada de etanol transportado.

A equação 15 expõe os cálculos de conversão.

$$Cons. Energ. MB Axor 1933 = 36,02 \frac{MJ}{litro diesel} \div 2,6 \frac{km}{litro} \div 15 = 0,924 \frac{MJ}{ton etanol} \quad (15)$$

Considerando esse valor, foram calculados os novos níveis de emissão. Analisando a Tabela 28, é possível perceber que, em todos os cenários, obteve-se uma redução da emissão de gases de efeito estufa.

Tabela 28 - Resultados obtidos com o uso do caminhão modelo MB Axor 1933

Cenário	Variáveis	Dados	Unidade
Pessimista (0%)	Distância	1130	km
	π	0,924	MJ/t de etanol
	$F\pi$	0,074	kg de CO _{2e} /MJ
	Total de emissão	154,472	kg de CO_{2e} / t etanol
Moderado (5%)	Distância	1130	km
	π	0,880	MJ/t de etanol
	$F\pi$	0,074	kg de CO _{2e} /MJ
	Total de emissão	147,116	kg de CO_{2e} / t etanol
Otimista (10%)	Distância	1130	km
	π	0,840	MJ/t de etanol
	$F\pi$	0,074	kg de CO _{2e} /MJ
	Total de emissão	140,429	kg de CO_{2e} / t etanol

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.6.3 Estimativas para a situação com o uso do GPS e com uma condução sem variações de velocidade

A terceira situação analisada engloba os dois benefícios que podem ser alcançados com o uso do Sistema Inteligente de Navegação proposto. Assim, foram simulados nove cenários para os três caminhões considerados no item 6.3.6.2.

A Tabela 29 ilustra os resultados obtidos com o uso do caminhão modelo MB 2318.

Tabela 29 - Resultados alcançados, considerado o uso do GPS e a velocidade constante para o caminhão modelo MB 2318

Veículo			
MB 2318			
GPS	Velocidade "ideal"		
	Pessimista (0%)	Moderado (5%)	Otimista (10%)
Pessimista (0%)	182,557	173,864	165,961
Moderado (5%)	177,240	168,800	161,127
Otimista (5%)	173,864	165,585	158,058

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 30, por sua vez, expõe os resultados alcançados com o uso do caminhão modelo Ford Cargo 1933.

Tabela 30 - Resultados alcançados, considerado o uso do GPS e a velocidade constante para o caminhão modelo Ford Cargo 1933

Veículo			
Ford Cargo 1933			
GPS	Velocidade "ideal"		
	Pessimista (0%)	Moderado (5%)	Otimista (10%)
Pessimista (0%)	167,345	159,376	152,132
Moderado (3%)	162,471	154,734	147,701
Otimista (5%)	159,376	151,787	144,887

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, a Tabela 31 ilustra os resultados de emissão de gases de efeito estufa obtidos com o uso do caminhão modelo MB Axor 1933.

Tabela 31 - Resultados alcançados, considerado o uso do GPS e a velocidade constante para o caminhão modelo MB Axor 1933

Veículo			
MB Axor 1933			
GPS	Velocidade "ideal"		
	Pessimista (0%)	Moderado (5%)	Otimista (10%)
Pessimista (0%)	154,472	147,116	140,429
Moderado (3%)	149,973	142,831	136,339
Otimista (5%)	147,116	140,111	133,742

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.7 Etapa 8: Análise do volume de GEE estimado

A oitava etapa da metodologia REGEECS compreende a análise e a comparação dos resultados obtidos na nova medição com aqueles esperados ou encontrados na terceira etapa.

Neste estudo foi feita a comparação entre os resultados do processo de distribuição obtidos no cenário original, expostos no item 5.3.3.3, e aqueles alcançados com o uso do Sistema Inteligente de Navegação proposto, exibidos no item 5.3.6.

É importante ressaltar que, para se calcular as emissões do processo de distribuição, foram consideradas três variáveis distintas, como expõe a equação 13: a) a distância entre a indústria e o destino; b) o consumo de energia do veículo; c) o fator de emissão para a energia consumida.

Assim, com o objetivo de minimizar a emissão de GEE, o Sistema Inteligente de Navegação centralizou-se na minimização da variável de distância e de consumo de energia.

Primeiramente, foi simulada uma situação que considera o uso de um GPS para encurtar a distância entre a usina e o porto de Santos. Conforme é possível perceber na Tabela 32, os resultados encontrados foram positivos para:

- a) o cenário moderado - ao considerar uma redução de 3% da distância, obteve-se uma diminuição de 2,913%;
- b) o cenário otimista - ao estimar uma diminuição de 5% do trajeto, foi alcançada uma redução de 4,762% do cenário original.

Tabela 32 - Comparação entre os resultados obtidos no cenário original e aqueles alcançados com o uso do GPS

Cenários	Resultados	Porcentagem (%)
Cenário Original	182,557	-
Pessimista (0%)	182,557	0%
Moderado (3%)	177,240	-2,913%
Otimista (5%)	173,864	-4,762%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na sequência, foi simulada uma situação em que o veículo seria conduzido dentro de uma velocidade ideal, para, assim, economizar combustível. A Tabela 33 expõe os resultados obtidos, juntamente com a porcentagem referente à redução das emissões de gases de efeito estufa.

Na Tabela 33 é possível perceber que tal procedimento auxiliou na redução de quase todos os cenários.

Considerando o caminhão modelo MB 2318, foi obtida uma diminuição de, até, 9,091% no cenário otimista. Já para o veículo do tipo Ford Cargo 1933 foram alcançados resultados positivos em todas as situações, sendo que, no cenário otimista, foi obtida uma redução de 16,666%.

Finalmente, com o uso do caminhão modelo MB Axor 1933, o mais econômico, as reduções foram superiores a 15% em todas as situações, quando comparadas com o cenário original.

Tabela 33 - Comparação entre os resultados obtidos no cenário original e aqueles alcançados com a velocidade constante

Cenários	Resultados	Porcentagem (%)
Cenário Original	182,557	-
MB 2318		
Pessimista (0%)	182,557	0,0%
Moderado (5%)	173,864	-4,762%
Otimista (10%)	165,961	-9,091%
Ford Cargo 1933		
Pessimista (0%)	167,345	-8,333%
Moderado (3%)	159,376	-12,698%
Otimista (5%)	152,132	-16,666%
MB Axor 1933		
Pessimista (0%)	154,472	-15,384%
Moderado (3%)	147,116	-19,413%
Otimista (5%)	140,429	-23,077%

Fonte: Elaborado pelo autor.

A última medição feita considerou as duas vantagens proporcionadas pelo uso do Sistema Inteligente de Navegação.

A Tabela 34 expõe o quanto, em porcentagem, foi possível reduzir com o uso total do Sistema Inteligente de Navegação. Nela pode-se perceber que, para o caminhão modelo MB 2318, foi viável diminuir em, até, 13,42% das emissões de GEE.

Tabela 34 - Comparação entre os resultados obtidos no cenário original e aqueles alcançados com o uso total do Sistema Inteligente de Navegação para o caminhão modelo MB 2318

Veículo				
MB 2318				
GPS	Velocidade "ideal"			
	Pessimista (0%)	Moderado (5%)	Otimista (10%)	Original
Pessimista (0%)	0,000%	-4,762%	-9,091%	182,557
Moderado (5%)	-2,913%	-7,536%	-11,739%	
Otimista (5%)	-4,762%	-9,297%	-13,420%	

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 35, por sua vez, também ilustra o quanto, em porcentagem, foi possível reduzir com o uso total do Sistema Inteligente de Navegação. Nela percebe-se que, para o caminhão modelo Ford Cargo 1933, no pior cenário foi possível minimizar as emissões em, até, 8,333%. Já na melhor circunstância foi alcançada uma redução de 20,634%.

Tabela 35 - Comparação entre os resultados obtidos no cenário original e aqueles alcançados com o uso total do Sistema Inteligente de Navegação para o caminhão modelo Ford Cargo 1933

Veículo				
Ford Cargo 1933				
GPS	Velocidade "ideal"			
	Pessimista (0%)	Moderado (5%)	Otimista (10%)	Original
Pessimista (0%)	-8,333%	-12,698%	-16,666%	182,557
Moderado (3%)	-11,003%	-15,241%	-19,093%	
Otimista (5%)	-12,698%	-16,855%	-20,634%	

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 36 expõe o cenário obtido com o uso do veículo modelo MB Axor 1933. Nela percebe-se que esse caminhão é o que mais contribui para a redução de GEE, sendo alcançado no melhor cenário uma redução de 26,74%.

Tabela 36 - Comparação entre os resultados obtidos no cenário original e aqueles alcançados com o uso total do Sistema Inteligente de Navegação para o caminhão modelo MB Axor 1933

Veículo				
MB Axor 1933				
GPS	Velocidade "ideal"			
	Pessimista (0%)	Moderado (5%)	Otimista (10%)	Original
Pessimista (0%)	-15,384%	-19,413%	-23,076%	182,557
Moderado (3%)	-17,849%	-21,761%	-25,317%	
Otimista (5%)	-19,413%	-23,251%	-26,740%	

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.8 Etapas 9 e 10: Implementação da Proposta Escolhida, Medição e Análise da emissão de GEE da Cadeia de Suprimentos

A nona e a décima etapas da metodologia proposta compreendem: a implementação da proposta escolhida, um novo processo de medição e análise das emissões de gases de efeito estufa da cadeia de suprimentos de etanol analisada.

Entende-se que, independentemente da importância, a implementação da alternativa escolhida foge do escopo deste estudo, uma vez que envolve uma decisão estratégica tomada pela alta gestão das empresas.

Consequentemente, tanto a implementação quanto a nova medição não são abordadas neste estudo.

5.2.9 Etapa 11: Estabelecimento de novas metas para a redução da emissão de GEE da Cadeia de Suprimentos

A última etapa da metodologia proposta abrange o estabelecimento de novas metas de redução de emissão de gases de efeito estufa para a cadeia de suprimentos analisada.

Entende-se que tal procedimento é essencial para que sejam alcançados resultados positivos no longo prazo, uma vez que ele estabelece o início de um ciclo contínuo, no qual as empresas participantes da cadeia de suprimentos sempre buscarão melhorar os resultados alcançados, procurando novos processos ineficientes e novas alternativas para melhorar tais ineficiências.

Apesar da importância de tal etapa, esse procedimento foge do escopo deste estudo, pois ele compreende uma decisão estratégica empresarial, que deve ser tomada pela alta gestão das empresas participantes da cadeia de suprimentos de etanol analisada.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste estudo é desenvolver uma metodologia para redução da emissão de gases de efeito estufa, que pudesse ser utilizada como uma ferramenta de engenharia e de auxílio na tomada de decisão em uma cadeia de suprimentos, considerando-se situações onde existe a possibilidade de redução a emissão de GEE por meio da aplicação da tecnologia de informação e da automação.

Para analisar a efetividade de tal metodologia, ela foi aplicada em uma CS de etanol, que teve suas emissões estimadas. Com esses dados, foi determinado que o processo de distribuição do produto deveria ser o foco para eventuais reduções, uma vez que ele era o que mais poderia influenciar, individualmente e negativamente, o total de gases emitido pela cadeia.

Respeitando a sexta etapa da metodologia apresentada, foram desenvolvidas quatro propostas para diminuir a emissão do processo de distribuição. Entre elas, optou-se pelo uso de um Sistema Inteligente de Navegação, que buscava influenciar duas variáveis da equação usada para calcular o total de GEE emitido durante o transporte: a distância percorrida entre a usina e o porto de Santos e o consumo de energia do veículo utilizado neste trajeto.

Assim, foram simuladas três situações diferentes: a) uma que considerava somente o uso do sistema GPS, para minimizar a distância percorrida; b) uma simulação de situação em que a condução do veículo ocorria em uma velocidade ideal, para, assim, minimizar o consumo de energia; c) uma que ponderava a ocorrência das duas situações, concomitantemente.

Na primeira situação foram traçados três cenários. Os resultados estimados mostraram a possibilidade de minimizar, até, 4,762% das emissões de gases de efeito estufa do processo de distribuição.

Na segunda situação representada, os resultados foram ainda mais positivos. Para essa simulação, foram construídos três cenários, que conceberam uma diminuição de, até, 10% do consumo do combustível do veículo. Também foi simulada a substituição do veículo do tipo MB 2318 por dois modelos mais novos de caminhões, com consumo próximo ao caminhão “base”.

Os resultados estimados na segunda situação expõem a possibilidade de reduzir as emissões do cenário original em: a) até 9,091% com o caminhão modelo MB 2318; b) até 16,666% com o veículo modelo Ford Cargo 1933; c) até 23,077% com o caminhão tipo MB Axor 1933.

Na terceira situação simulada foram encontrados os melhores resultados. Considerando o uso do caminhão modelo MB 2318, seria possível reduzir a emissão do processo de distribuição em, até, 13,420%. A redução seria ainda maior com o veículo modelo Ford Cargo 1933, alcançando uma minimização de, até, 20,634%; porém, não atingiria o valor estimado no melhor cenário com o uso do caminhão tipo MB Axor 1933, onde existiria uma diminuição de, até, 26,740% do total de gases de efeito estufa emitidos no transporte do etanol entre a usina e o porto de Santos.

As estimativas obtidas nas simulações demonstram que a proposta baseada na tecnologia da automação e na tecnologia de informação, caso implementada, pode auxiliar na minimização da emissão de GEE da CS de etanol analisada.

No entanto, é importante salientar que tal medida envolve somente alterações dentro do escopo operacional da gestão da cadeia de suprimentos. Nesse sentido, é necessário também verificar a efetividade das demais propostas mencionadas na sexta etapa, já que há indícios que expõem a possibilidade de reduzir ainda mais a emissão de gases de efeito estufa por meio de estratégias que envolvem a troca do porto utilizado, o uso de outro combustível e a renovação da frota usada.

Ainda analisando as estimativas expostas, também é possível constatar a potencial efetividade da metodologia REGEECS, uma vez que sua aplicação seria bem-sucedida na cadeia de suprimentos de etanol, com, praticamente, todas as etapas sendo demonstradas e com a obtenção de resultados que comprovariam a possibilidade de reduzir a emissão de GEE, caso a proposta escolhida fosse implementada.

Dessa forma, acredita-se que a metodologia REGEECS é uma ferramenta de engenharia eficaz no auxílio da tomada de decisões referentes à redução de gases de efeito estufa de uma cadeia de suprimentos.

No entanto, é necessário ressaltar as limitações deste estudo. O fato de não terem sido considerados aspectos operacionais e financeiros na escolha da proposta, de terem sido feitas estimações na coleta de dados nos processos de manejo agrícola

e industrial, juntamente com a constatação de que não foram demonstradas todas as etapas da metodologia REGEECS, devido ao fato de algumas envolverem decisões estratégicas, restringem as conclusões do estudo e, ao mesmo, instigam reflexões futuras sobre o tema.

Assim, a partir deste estudo, emergem diversas questões que podem ser norteadoras de pesquisas futuras. Para a continuidade deste estudo sugere-se:

- a) Estimar e analisar as eventuais reduções de gases de efeito estufa que seriam conquistadas no processo de distribuição, por meio da implementação de outras propostas, tais como: a utilização de outros modais, inclusive considerando a possibilidade do transporte intermodal; o uso de outros combustíveis fósseis - etanol ou biodiesel ; uso de outro porto para exportação do etanol; a troca da frota de veículos, por caminhões mais modernos que consumam menos combustível;
- b) Desenvolver propostas para diminuir as emissões de GEE nas demais etapas da cadeia de suprimentos de etanol analisada, principalmente para os processos envolvidos no manejo agrícola, que já representam, atualmente, uma parcela considerável do total emitido pela CS;
- c) Averiguar a eficiência da metodologia REGEECS, por meio de sua aplicação em outras cadeias de suprimentos, que tenham outros produtos e processos a serem analisados;
- d) Aplicar outras metodologias de cálculo para estimar as emissões de gases de efeito estufa da cadeia de suprimentos. Entende-se que este campo de conhecimento ainda está em crescimento e, dessa forma, não existe uma forma ideal para calcular as emissões de uma CS. Assim, o uso de outro método pode demonstrar, ainda mais, a efetividade da metodologia REGEECS;
- e) Incorporar à metodologia REGEECS, mais precisamente em sua sexta etapa, modelos matemáticos que considerem não somente aspectos ambientais,

como também perspectivas operacionais e financeiras, tornando sua aplicabilidade mais factível.

REFERÊNCIAS

- ABERDEEN GROUP. Disponível em: < <http://www.aberdeen.com/> >. Acesso em: 02 dez. 2013.
- ACADEMIA PEARSON. **Gestão Ambiental**. São Paulo: Pearson, 2011.
- ALMEIDA, F. **Os Desafios da Sustentabilidade**: uma ruptura urgente. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- ÁLVARES JR, O. M.; LINKE, R. R. A. **Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil**. São Paulo: CETESB, 182 p, 2001.
- ALVAREZ, M. O.; QUEIROZ, A. A. Aproximações dos laços de parcerias entre fornecedor-cliente na cadeia de suprimentos como fonte de competitividade. XXIII - **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 23., 2003.
- ALVES FILHO, A. G. *et al.* Pressupostos da gestão da cadeia de suprimentos: evidências de estudos sobre a indústria automobilística. **Gestão & Produção**, São Carlos, v.11, n.3, p. 275-288, set./dez. 2004.
- AMATO NETO, João. Os desafios da Produção e do Consumo sob Novos Padrões Sociais e Ambientais. In: AMATO NETO, João. **Sustentabilidade & produção**: teoria e prática para uma gestão sustentável. São Paulo: Atlas, 2011a.
- _____. Gestão sustentável da cadeia de suprimentos (*Green Supply Chain Management*): princípios e aplicações. In: AMATO NETO, João. **Sustentabilidade & produção**: teoria e prática para uma gestão sustentável. São Paulo: Atlas, 2011b.
- ANDRADE, J. C. S. Desenvolvimento sustentado e competitividade: tipos de estratégias ambientais empresariais. **TECBAHIA R.**, Camaçari, v.12, n.2, mai/ago 1997.
- ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Anuário Estatístico da Indústria Automobilística Brasileira, 2012. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuario.html>> . Acesso em: 14 out 2015.
- ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2011. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/?dw=60993>>. Acesso em: 15 jan. 2016.

ANTUNES, R.G.; QUALHARINI, E.L. A Norma Brasileira de Mudanças Climáticas – ABNT NBR ISO 14064. **IV Congresso Nacional de Excelência em Gestão**, Niterói, p. 1-11, 2008.

ARRUDA JUNIOR, Jurandi da Silva. **Desenvolvimento de um Método para Redução do Consumo de Combustível no Transporte Rodoviário de Cargas: capacitação, aplicações de torque e telemetria para veículos pesados**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, São Paulo, 2014.

ASHLEY, A. P. **Ética e Responsabilidade Social nos Negócios**. São Paulo: Saraiva, 2005.

ASSOBENS MAGAZINE. 2012. Disponível em:<
http://www.assobens.org.br/imagens/revistas/pdf/REVISTA_313.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2016.

BACKER, P. **Gestão ambiental: a administração verde**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda, 1995.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BARBIERI, J. C. **Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudanças da Agenda 21**. Rio de Janeiro: Vozes, 2002.

BECHTEL, Christian; JAYARAM, Jayanth. Supply Chain Management: A Strategic Perspective. **International Journal of Logistics Management**, v.8, p.15-34, 1997.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, David J.; COOPER, M. B. **Gestão da cadeia de suprimentos e logística**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

_____; _____. **Gestão logística de cadeia de suprimentos**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

_____; _____. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento**. São Paulo: Atlas, 2001.

BRAGA JR., B. P. F. *et al.* **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

BRITO, R. P.; BERARDI, P. C. Vantagem Competitiva na Gestão Sustentável da Cadeia de Suprimentos: um metaestudo. **Revista de Administração Eletrônica - RAE**, v. 50, n. 2, p.155-169, abr./jun., 2010.

BRÜSEKE, F. J. O Problema do Desenvolvimento Sustentável. In: CAVALCANTI, C. **Desenvolvimento e Natureza: estudos para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Cortez, 2001.

BUARQUE, Sergio C. **Construindo o desenvolvimento local sustentável: metodologia de planejamento**. 4.ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2008. Teria acento em Sérgio?

BVRIO. Disponível em: < <http://www.bvrio.org/>>. Acesso em: 20 jun. 2013.

CARVALHO, André Pereira. **Gestão sustentável da cadeia de suprimentos: análise da indução e implementação de práticas socioambientais por uma empresa do setor de cosméticos**. 2011. Tese (Doutorado) - Escola de Administração de Empresas de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2011.

CARVALHO, M. D. **Proposta de um modelo de planejamento agregado da produção numa usina de açúcar e álcool vinculado à flutuação de preços em mercados à vista e no mercado futuro**. 2009. 201p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CENAMO, Mariano Colino. **Mudanças climáticas, o protocolo de quioto e mercado de carbono**. 2004. Disponível em: <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/proclima/artigos_dissertacoes/artigos_portugues/mudancasclimaticasprotocolodequiotoemercadosdecarbono.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2013.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operação**. 4.ed. São Paulo: Pearson, 2011.

CHRISTOPHER, Martin. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**. São Paulo: Cengage, 2013.

COMISSÃO MUNDIAL DO DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE. 1991. Disponível em: < <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>>. Acesso em: 23 mai 2013.

CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A.. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços - uma abordagem estratégica**. 3.ed. São Paulo: Atlas, 2012.

COSTA, J. C.; RODRIGUEZ, J. B.; LADEIRA, W. J. A gestão da cadeia de suprimentos: teoria e prática. In: ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 25., 2005, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABEPRO, 2005, p.691-698.

CROXTON, K. L. et al. The supply chain management processes. **The International Journal of Logistics Management**, v. 12, n. 2, p.13-36, 2001.

DIAS, E. C. Mercado de carbono. **Fórum de Direito Urbano e Ambiental**, Belo Horizonte, v.5, n.25, p.3041-3044, jan./fev. 2006.

DIAS, G. F. **Educação ambiental**: princípios e práticas. 9. ed. São Paulo: Gaia, 2004.

DIAS, G. V.; TOSTES, J. G. R. Desenvolvimento sustentável: do ecodesenvolvimento ao capitalismo verde, 2011. Disponível em: <http://www.socbrasileiradegeografia.com.br/revista_sbg/Artigos_arquivos/Guilherme_artigo_SBG.pdf>. Acesso em: 13 out 2013.

DOMINGOS, N. P. **O Protocolo de Kyoto**: a União Europeia na Liderança do Regime de Mudanças Climáticas. 2007. 143 f. Dissertação (Mestrado em Relações Internacionais). Programa San Tiago Dantas, São Paulo, 2007.

DONAIRE, D. **Gestão Ambiental na empresa**. São Paulo: Atlas, 1999.

ELKINGTON, John, **Cannibals with forks**: the bottom line of the 21st century business. New York: Capstone Publishing, 1997.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Potencial de redução de emissões de CO₂ em projetos de produção e uso de biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, 2007.

ESPER, T.L.; FUGATE, B.S; DAVIS-SRAMEK, B. Logistics learning capability: sustaining the competitive advantage gained through logistics leverage. **Journal of Business Logistics**, p. 57-79, 2000.

FIGUEIREDO, Eduardo Barretto de. **Balanço de Gases de Efeito Estufa e Emissões de CO₂ do Solo nos Sistemas de Colheita da Cana-De-Açúcar Manual Queimada E Mecanizada Crua**. 2012. Tese (Doutorado em Agronomia). UNESP, Jaboticabal, 2012.

FLEURY, Paulo. **Logística no Brasil**: situação atual e transição para uma economia verde. Rio de Janeiro: FBDS, 2012.

FOLADORI, Guillermo. **Limites do desenvolvimento sustentável**. Campinas: Editora Unicamp, 2001.

GERARDI, L. H. O.; MENDES, I. A. (Org.). **Do Natural, do Social e de suas Interações**: visões geográficas. Rio Claro: UNESP, 2002.

GHG PROTOCOL. Disponível em: <http://ghgprotocolbrasil.com.br/arquivos/152/especificacoes_pb_ghgprotocol.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2014.

GIL, A. C. **Como elaborar um projeto de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GOLDEMBERG, José. The Brazilian Experience with Biofuels. **Innovations**, v.4, n.4, p.91-107, 2009.

GOLDEMBERG, José; MEIRA FILHO, Luiz Gylvan. O novo Protocolo de Kyoto. **O Estado de São Paulo**, 19 de abr. 2005. Espaço Aberto, p. A2.

GONÇALVES, D. B. Desenvolvimento Sustentável: o desafio da presente geração. **Revista Espaço Acadêmico**, n. 51, ago. 2005.

GOUVEIA, Nuno; MESQUITA, Luiz. **Mercado de Carbono**. 2011. Disponível em: <http://www.marcasepatentes.pt/files/collections/pt_PT/1/300/302/Mercado%20do%20Carbono.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2014.

GRISOLI, Renata Patrícia Soares. **Comparação das Emissões de Gases de Efeito Estufa no Ciclo de Vida do Etanol de Cana-de-Açúcar no Brasil e os Critérios da Diretiva Europeia para Energias Renováveis**. 2011. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

HALL, Gill; LEE, Joanna. **Making Advances in Carbon Management**: best practice from the Carbon Information Leaders. [s.l.]: A Joint CDP and IBM study, 2008.

HANDFIELD, R.B.; NICHOLS Jr., E.L. **Introduction to supply chain management**. New Jersey, Prentice-Hall, 1999.

HASHEMI, A.; BUTCHER, T.; CHHETRI, P.. A modeling framework for the analysis of supply chain complexity using product design and demand characteristics. **International Journal of Engineering, Science and Technology**. v. 5, n. 2, p. 150-164, 2013.

HOLCIM. Disponível em: <<http://www.holcim.com.br/>>. Acesso em: 11 mai 2014.

HUMPHRIES, A. S.; WILDING, R. Partnerships in UK defence procurement: a supply chain management perspective. **The International Journal of Logistics Management**, v.12, n.1, p. 83-96, 2001.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Disponível em: < <http://www.iso.org/>>. Acesso em: 20 mar. 2014.

IUCN - INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE. 2006. Disponível em: < <http://www.iucn.org/>>. Acesso em: 25 mai 2013.

IVECO. Disponível em: <<http://www.blogiveco.com.br/2015/04/17/quatro-dicas-para-economizar-combustivel/>>. Acesso em: 30 jan. 2016.

JABBOUR, Charbel José Chiappetta; SANTOS, Fernando César Almada Santos. Evolução da gestão ambiental na empresa: uma taxonomia integrada à gestão da produção e de recursos humanos. In: AMATO NETO, João. **Sustentabilidade & produção: teoria e prática para uma gestão sustentável**. São Paulo: Atlas, 2011.

KHALILI, Amyra El. **O que são créditos de carbono**. 2003. Disponível em: <<http://saf.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/10.pdf>>..Acesso em: 15 abr. 2014.

KOHLHEPP, G.. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, 2010.

KOTLER, Philip; KELLER, Kevin Lane. **Administração de marketing**. 14. ed. São Paulo: Pearson, 2012.

LAMBERT, D. M. The eight essential supply chain management processes. **Supply Chain Management Review**, v.8, n.6, p.18-26, 2004.

_____; COOPER, M. C. Issues in supply chain management. **Industrial Marketing Management**, v. 29, n.1, p.65-83, 2000.

LAMBERT, D. M.; COOPER, M. C.; PAGH, J. D. Supply chain management: implementation issues and research opportunities. **The International Journal of Logistics Management**, v.8 , n.2 , p. 1-19, 1998.

LAMMING, R. *et al.* An initial classification of supply networks. **International Journal of Operations and Production Management**, v.20, n.6, p.675-691, 2000.

LANDRUM, Nancy E.; EDWARDS, Sandra. **Sustainable Business: an executive's primer**. New York: Business Expert Press, 2009.

LAYRARGUES, P. P. Do ecodesenvolvimento ao desenvolvimento sustentável: evolução de um conceito? In: **Proposta**, 25(71):5 - 10, 1997.

LEITE, R. C. C.; LEAL, M. R. L. V. **O Biocombustível no Brasil**. CEBRAP, 2007.

LOPES, Celso Junior Roseguini. **Comparando as Emissões de Gases de Efeito Estufa nas Etapas da Cadeia Produtiva do Etanol Brasileiro**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

LOPES, Maíra Bacha. **Análise dos Canais de Distribuição do Etanol Carburante Brasileiro: um estudo exploratório**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

LOURENÇO, M. S.; CHIARAMONTI, C. **O Desenvolvimento Sustentável e a Economia Circular: a experiência chinesa**. Disponível em: < http://www.unifae.br/publicacoes/pdf/IIseminario/pdf_praticas/praticas_18.pdf >. Acesso em: 23 jun 2013.

MACEDO, Rafael Freire de. Inventário de Emissões de Dióxido de Carbono (CO₂) geradas por fontes móveis no estado do Rio Grande do Norte: período de janeiro de 2003 a junho de 2004. **HOLOS**. Ano 20, out. 2004.

MACEDO, Isaias de Carvalho; LEAL, Manoel Regis Lima Verde; SILVA, João Eduardo Azevedo Ramos da. **Balanço das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil**. Relatório Final da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, abr, 2004.

MAGALHÃES, Aline Souza; BETARELLI JÚNIOR, Admid Antônio; DOMINGUES, Edson Paulo. Alternativas e Impactos de Políticas de redução de emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil. **XL Encontro Nacional de Economia**. 2014.

MANOCHIO, Carolina. **Produção de Bioetanol de Cana-de-Açúcar, Milho e Beterraba**: uma comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Alfenas, Minas Gerais, 2014.

MANUJ, I.; MENTZER, J. T. Global supply chain risk management. **Journal of Business Logistics**, v.29, n.1, p.133-155, 2008.

MARCATTO, T. I.; LIMA, L. A. Sociedade Contemporânea e o Protocolo de Quioto: o Mundo em Prol do Meio Ambiente. **Revista Científica da Escola de Gestão e Negócios**, ano II, n. 2, fev./jul. 2013.

MAWHINNEY, Mark. **Desenvolvimento Sustentável**: uma introdução ao debate ecológico. São Paulo: Edições Loyola, 2005.

MENEGUIN, Fernando B. **O que é o mercado de carbono e como ele opera no Brasil?**. 2012. Disponível em: <<http://www.brasil-economia-governo.org.br/2012/08/13/0-que-e-o-mercado-de-carbono-e-como-ele-opera-no-brasil/>>. Acesso em: 17 jul. 2015.

MENTZER, John T. **Fundamentals of Supply Chain Management**: twelve drivers of competitive advantage. California: Sage, 2004.

_____ *et al.* Defining supply chain management. **Journal of Business Logistics**, v.22, n.2, p.1-25, 2001.

MILANEZ, Artur Yabe *et al.* Logística para o etanol: situação atual e desafios futuros. **BNDS Setorial**, n. 31, p. 49-98, 2010. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3102.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2015.

MONTIBELLER FILHO, Gilberto. Ecodesenvolvimento e Desenvolvimento Sustentável: conceitos e princípios. **Textos de Economia**. Florianópolis, v. 4, p. 131-142, 1993.

NAKAGAWA, Marcelo. Plano de negócio sustentável. In: AMATO NETO, João. **Sustentabilidade & produção: teoria e prática para uma gestão sustentável**. São Paulo: Atlas, 2011.

NASCIMENTO, L. F. **Gestão Ambiental e a Sustentabilidade**. 2008. Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/16757129/Gestao-Ambiental-e-Sustentabilidade>>. Acesso em: 17 jun. 2013.

NEVES, L. S.; KLEINMAYER, L. A.; TOCACH, R. A transição do desenvolvimento ao desenvolvimento sustentável. In: **II Seminário sobre sustentabilidade**. Curitiba: UniFAE, 2007.

NIDUMOLU, Ram; PRAHALAD, C. K.; RANGASWAMI, M.R. Why sustainability is now the key driver of innovation. **Harvard Business Review**, set. 2009.

NOGUEIRA, M. G.; CHAVES, M. P. S. R. Desenvolvimento sustentável e ecodesenvolvimento: uma reflexão sobre as diferenças ideo-políticas conceituais. **Somanlu – Revista de Estudos Amazônicos**. n. 1, jan./jun. 2005.

NOVACANA. 2015. Disponível em: <<http://www.novacana.com/etanol/fabricacao/>> . Acesso em: 16 out. 2015.

OKINO, D. A. **Gestão da cadeia de suprimentos aplicada à operação de numerário no Brasil**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Escola de Administração de Empresas de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo.

OLIVEIRA, Daniele Lopes. Mercado de Carbono no Brasil. **Gestão & Tecnologia**, ano 2, mar./abr. 2010.

OMETTO A. R. **Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos EDIP, Exergia e Emergia**. 2005, 209p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

PEREIRA, Sérgio Luiz. **Ecoeconomia Tecnológica Cooperativa: Uma Proposta Conceitual: Ciência e Tecnologia da Automação como Ferramentas de Inclusão Social e de Suporte ao Desenvolvimento Sustentável**. 2009. Tese (Livre Docência em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

PINHO, Ingrid Person Rocha e. **Inventário e Gerenciamento de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Indústria de Bebidas: um estudo de caso no Brasil**. 2009. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de

Janeiro, 2009.

PIRES, S. R. I. **Gestão da cadeia de suprimentos (supply chain management):** conceitos, estratégias, práticas e casos. São Paulo: Atlas, 2007.

PORTER, Michael E. **Estratégia competitiva:** técnicas para análise de indústrias e da concorrência. Rio de Janeiro: Campus, 1986.

PRESOTO, Anderson Edilson; SOUZA, Roberta de Castro; THURLER, João Henrique Fonseca. Um estudo bibliométrico sobre cadeia de suprimentos sustentáveis. **XXXIII ENEGEP - ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, 33., 2013.

REIGOTA, M. A. S. **Ciência e Sustentabilidade:** a contribuição da educação ambiental. *Revista de Avaliação da Educação Superior*. v. 12, n. 02, p. 219-332, jun. 2007.

RIBEIRO FILHO, N. M. et al. Aproveitamento do caldo do sorgo sacarino para produção de aguardente. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 9-16, 2008.

RITZMAN, Larry P.; KRAJEWSKI, Lee J. **Administração da produção e operações.** São Paulo: Pearson, 2004.

RUSSEL, Stephen H. Supply chain management: more than integrated logistics. **Air Force Journal of Logistics**. USA, v.31, n.2, p.55-63, 2007.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, P. B. **Metodologia de pesquisa.** 3. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental:** conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SANTA-EULALIA, L. A. *et al.* An Essay on Green Supply Chain Design and Dynamic Alignment. **Proceedings of the 3rd International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain - ILS**, p.14-16, 2010.

SANTIN, M. F. C. L. **Os impactos da demanda por crédito de carbono sobre o mercado de certificações de reduções de emissões no Brasil, no âmbito do Protocolo de Quioto.** 2007. 91 f. Dissertação (Mestrado em Economia).Pontifícia Universidade Católica, Rio Grande do Sul, 2007.

SANTOS, L. C. Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável, suas relações e

dimensões educativas: avanços, limites e possibilidades. **34 Reunião Anual da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Educação**, Natal - RN, v. 34. p. 289-290, 2001.

SANTOS, M. C.; PORTO, G. S. Um estudo sobre os modelos de gestão ambiental adotados pelas empresas. **Revista Eletrônica de Administração – FACEF**, São Paulo, v. 11, ed.12, jan./jul. 2008. Disponível em: <http://www.facef.br/rea/edicao12/ed12_art04.pdf>. Acesso em: 17 mai. de 2013.

SARKIS, J.; ZHU, Q.; LAI, K. H. An organizational theoretic review of green supply chain management literature. **International Journal of Production Economics**, v. 130, n. 1, p. 1-15, 2011.

SCANIA. 2016. Disponível em:< <http://www.scania.com.br/caminhoes/economia-de-combustivel/>>. Acesso em: 30 jan. 2016.

SCHENINI, P. C. **Avaliação dos padrões de competitividade à luz do desenvolvimento sustentável: o caso da indústria Trombini Papel e Embalagens S/A em Santa Catarina – Brasil, 1999.** 223f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

SCOTTO, G.; CARVALHO, I.; GUIMARÃES, L. B. **Desenvolvimento Sustentável.** Petrópolis: Vozes, 2007.

SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. **Cadeia de suprimentos: projeto e gestão.** Porto Alegre: Bookman, 2003.

SLACK, N.; JOHNSTON, R.; CHAMBERS, S. **Administração da produção.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SOUSA, A. C. A. de. A evolução da política ambiental no Brasil do século XX. **Revista de Ciência Política**, n. 26, n. p., 2005. Disponível em: <http://www.achegas.net/numero/vinteeseis/ana_sousa_26.htm>. Acesso em: 08 fev. 2014.

SOUZA S. P. **Produção integrada de biocombustíveis: uma proposta para reduzir o uso de combustível fóssil no ciclo de vida do etanol de cana-de-açúcar.** 2010 B. 144p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

SRIVASTAVA, Samir K. Green Supply-chain management: a state-of-the-art literature review. **International Journal Management Reviews**, v.9, n.1, p.53-80, 2007.

SZNELWAR, L. I. *et al.* Produção, Sustentabilidade e Trabalho: reflexões baseadas na ergonomia e na psicodinâmica do trabalho. In: AMATO NETO, João. **Sustentabilidade & produção: teoria e prática para uma gestão sustentável**. São Paulo: Atlas, 2011.

TACHIZAWA, Takeshy. **Gestão ambiental e responsabilidade social corporativa: estratégias de negócios focadas na realidade brasileira**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

TRENBERTH, Kevin E.; FASULLO, John T. An apparent hiatus in global warning?. **Earth's Future: Navigating the science of the Anthropocene**, v.1, p. 19-32, 2013.

TRKMAN *et al.* Process approach to supply chain integration. **Supply Chain Management: An International Journal**, p. 116-128, 2007.

UDOP - União dos Produtores de Bioenergia. Disponível em: <<http://www.udop.com.br>>. Acesso em 18 out. 2015.

ÚNICA - União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticias>>. Acesso em 17 jul. 2015.

ÚNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar. O Setor Sucroenergético: etanol, açúcar e bieletricidade, 2009. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=25497159>> . Acesso em: 15 out 2015.

VAN BELLEN, Hans Michael. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2005.

VASCONCELOS, F. C.; CYRINO, A. B. Vantagem Competitiva: os modelos teóricos atuais e a convergência entre estratégia e teoria organizacional. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 40, n. 4, p. 20-37, 2000.

VIAGI, Arcione Ferreira; ALVES, João Murta; SANTOS, Isabel Cristina dos ERP: Uma abordagem estratégica à integração na cadeia de suprimentos. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 5, n. 3, 2009.

WANG, M. **Development and Use of GREET 1.6 Fuel-Cycle Model for Transportation Fuels and Vehicle Technologies**. Lemont, IL: Argonne National Laboratory, 2001.

WENG, Chan Kook; BOEHMER, Kevin. Launching of ISO14064 for greenhouse gas accounting and verification. **ISO MANAGEMENT SYSTEM**, 2006.

ZÜGE, Cláudia Tomie Yukishima. **Alinhamento do planejamento estratégico com o plano diretor da automação industrial em pró do desenvolvimento sustentável**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

APÊNDICE A

Características gerais do etanol

O etanol é um combustível que vem ganhando destaque no plano econômico e nas questões ambientais em território nacional nos últimos anos, mais precisamente a partir do final da década de 1970.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2007, p.18):

O etanol ou álcool etílico de biomassa é proveniente de plantas ricas em açúcares, amido ou material celulósico, cujo processo de fabricação envolve a fermentação do açúcar e posterior destilação do vinho bruto. No caso da utilização de material rico em amido ou celulose, faz-se necessária uma etapa anterior que envolve a sua quebra para obtenção do açúcar. O álcool etílico hidratado, teor alcoólico de 95%, é utilizado diretamente como combustível veicular. O álcool etílico anidro tem teor alcoólico de 99,5% de álcool e é usado como aditivo à gasolina, substituindo o chumbo tetraetila por razões ambientais e melhorando o desempenho dos motores.

Ao longo das últimas décadas, a produção de etanol passou por diversos momentos instáveis, apresentando períodos de crescimento e de decréscimo, principalmente devido à atuação do governo brasileiro, que, por meio de atos e medidas impulsionou a produção e o consumo do produto (UNICA, 2015).

Nesse sentido, para entender a atual relevância do etanol para a economia do país, é necessário pontuar alguns marcos históricos ocorridos nas últimas décadas. Inicialmente, é relevante mencionar que, em 14 de novembro de 1975, como resposta à crise mundial de petróleo de 1973, o governo brasileiro criou, por meio do decreto nº 79.953, o Programa Nacional do Álcool (Pró-álcool), para diminuir a vulnerabilidade energética do país (UNICA, 2015; RIBEIRO FILHO *et al.*, 2008).

Ribeiro Filho *et al.* (2008) e Goldemberg (2009) mencionam que o Pró-álcool possuía dois objetivos principais:

- a) aumentar a segurança energética do país, diminuindo a dependência de combustíveis fósseis;

- b) apoiar a indústria açucareira, que sofria devido à queda do preço do açúcar em 1974.

De acordo com a UNICA (2015), em 1984, quase uma década depois da criação do pró-álcool, 94,4% dos veículos novos brasileiros eram movidos por etanol. Tal representatividade era fruto da expansão do programa ocorrida em 1979, devido à segunda crise do petróleo e ao desenvolvimento de motores que funcionavam com etanol hidratado carburante.

Desde 1986, a diminuição do impacto da crise do petróleo e os planos econômicos internos instigaram uma queda acentuada na produção de carros a etanol, fazendo com que, em 2001, somente 1% da frota nacional fosse movida exclusivamente a álcool (UNICA, 2015).

Segundo Lopes (2009, p.58):

A partir de 1986, começou a ocorrer uma redução dos preços internacionais do petróleo. Nesse período, a expansão da produção brasileira de petróleo fez com que diminuísse a dependência do país em relação ao petróleo importado. Além disso, os planos econômicos do governo priorizavam o controle da inflação e do déficit público, suspendendo os financiamentos governamentais para a ampliação da capacidade instalada.

Manochio (2014) e Kohlhepp (2010) apontam outros fatores que contribuíram para o aumento da competitividade da gasolina perante o etanol hidratado. Segundo os autores, o aumento da produção interna de petróleo, o decréscimo dos preços internacionais desse combustível, o aumento do preço do açúcar e a liberação da exportação deste produto, em 1988, auxiliaram na reascensão da gasolina.

Ainda segundo Kohlhepp (2010), o aumento do preço desse combustível auxiliou no aumento das vendas de veículos movidos a gasolina e, ao mesmo tempo, na extinção da produção de motores movidos somente a etanol na década de 1990.

Ao longo desse período, o desaquecimento da demanda do etanol hidratado foi compensado pelo maior uso do etanol anidro misturado à gasolina (UNICA, 2015). Kohlhepp (2010) cita que, durante tal período, foi mantida a mistura de etanol à gasolina de 20% a 25%, principalmente para reduzir as emissões de CO₂.

A tabela 37 expõe os principais fatos dos períodos citados anteriormente.

Tabela 37 - Etapas do etanol no Brasil e principais características

Período	Fatos e características
De 1975 a 1979 – Expansão moderada	<p>A primeira crise do petróleo teve correlação positiva com a criação do Proálcool, pois propiciou um ambiente favorável à produção de substitutos para os derivados do petróleo, devido à falta deste produto.</p> <p>Confirmou-se, no Proálcool, que o produtor estaria novamente sujeito a uma série de arranjos institucionais patrocinados pelo Estado, o que lhe garantia o paradigma subvencionista como modelo de sobrevivência.</p>
De 1980 a 1985 – Expansão acelerada	<p>O aprofundamento do “gargalo”, provocado pela segunda crise do petróleo, propiciou um ambiente favorável para o lançamento do álcool etílico hidratado, enquanto a orquestração de interesses corroborou esta alternativa como a opção energética mais adequada para a substituição de derivados do petróleo.</p> <p>Houve aumento da produção alcooleira, com o surgimento de novas regiões. Também ocorreu um período de preocupação com o desenvolvimento tecnológico no setor, caracterizado pela busca de maior eficiência e redução de custos, embora com a adoção desigual pelas empresas das várias regiões.</p>
De 1986 a 1995 – Desaceleração e crise	<p>O “gargalo” oriundo da crise do petróleo, que foi vital para a criação e posterior expansão do Proálcool, desapareceu.</p> <p>Houve desagregação de interesses: no âmbito do Estado, devido à tendência neoliberal e à crise fiscal e financeira; na deserção da indústria automobilística e/ou na falta de interesse do consumidor pelo carro movido exclusivamente a álcool; e na agroindústria canavieira, redirecionando parte da produção para o mercado açucareiro.</p> <p>Com a redução das participações dos investimentos públicos no Proálcool e desequilíbrio entre a oferta e a demanda de etanol carburante, o interesse em produzir e em comprar um veículo a álcool diminuiu.</p>

Fonte: Adaptado de Lopes, 2009.

No início da década de 2000 ocorreram dois marcos importantes para o desenvolvimento do setor de etanol:

- a) em 2002 houve uma nova alta nos preços do petróleo, que fez o etanol ser novamente interessante, economicamente, para os donos de veículos (LEITE; LEAL, 2007);
- b) em 2003 foi lançado o carro *Flex-Fuel* (FFV), movido a etanol, gasolina ou com uma mistura dos dois. A flexibilidade de escolha, juntamente com a crescente preocupação com o preço e com os impactos dos combustíveis fósseis no meio ambiente, tornou o etanol uma alternativa renovável de combustível (UNICA, 2015).

De acordo com Kohlhepp (2010), no ano seguinte, em 2004, 16% dos veículos novos vendidos no Brasil já eram equipados com esse tipo de motor. De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores do Brasil (ANFAVEA), atualmente, cerca de 85% de todos os veículos leves que são vendidos no Brasil são equipados com os modernos motores *flex* (ANFAVEA, 2012). A figura 23 expõe o crescimento do número de veículos com motores *flex fuel* em relação àqueles movidos apenas por álcool ou gasolina.

Figura 23 - Mercado de veículos brasileiro de 2003 a 2008

Fonte: UNICA, 2009.

Grisoli (2011) menciona que a possibilidade de misturar biocombustíveis, juntamente com o desenvolvimento e o uso de veículos *Flex-Fuel* (FFV) fizeram a demanda nacional e internacional do etanol crescer. Nesse sentido, a autora cita que diversos países passaram a incentivar o uso do E10⁷ como passo inicial para a introdução do combustível.

Para Lopes (2009, p. 56):

o carro flex é um dos maiores patrimônios que o Brasil desenvolveu na rota dos combustíveis renováveis, pois o crescimento da frota flex, aliado à competitividade do etanol em grande parte do território nacional, foi responsável pelo renascimento do mercado de etanol carburante no País. Em março de 2003, quando surgiu o carro flex, as vendas de álcool etílico hidratado estavam em declínio e não totalizavam 250 milhões de litros mensais. [...] Esse crescimento da demanda foi o motor propulsor da expansão da produção de etanol, que saltou de 14,8 bilhões de litros na safra 2003/04 para mais de 22 bilhões em 2007/08, devendo atingir 27 bilhões de litros na safra 2008/09.

Além da importância econômica, a introdução e o uso de tal combustível nos mercados internacionais e nacionais também pode contribuir com a proteção ambiental, uma vez que ele pode agredir menos o meio ambiente que os demais combustíveis fósseis. De acordo com UDOP (2015), a substituição dos combustíveis fósseis tradicionais pelo etanol é capaz de reduzir em, aproximadamente, 90% a emissão de gás carbônico na atmosfera.

No Brasil, a produção do etanol é proveniente, principalmente, da cana-de-açúcar, que é responsável por mais de 95% do total produzido, e do sorgo sacarino, uma nova cultura utilizada para incrementar a produção das usinas durante o período de entressafra (UNICA, 2015).

Segundo a UNICA (2009), a cana-de-açúcar é, além do etanol, o insumo básico de diversos produtos, tais como: rações animais, alimentos, eletricidade, entre outros.

⁷ Mistura de 10% de Etanol na Gasolina. De acordo com Grisoli (2011), em misturas destas proporções o etanol atua como aditivo da gasolina e como redutor de emissões de poluentes.

Atualmente, o Brasil é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar do mundo, com cerca de 45% a 50% da produção mundial. No ano de 2009, em valores relativos, foram produzidos em solo nacional 689,9 milhões de toneladas deste produto, o que representa, em área plantada, o terceiro maior cultivo do país, atrás apenas da soja e do milho (FAOSTAT, 2011 *apud* GRISOLI, 2011).

Tais valores ilustram um crescimento significativo quando comparados com números da safra de 2007/08. De acordo com a UNICA (2009), em tal ano o Brasil atingiu uma produção recorde de 496 milhões de toneladas, conforme exposto na tabela 38.

Tabela 38 - Produção brasileira de cana-de-açúcar, açúcar e etanol - safra 2007/2008

Região / Estado	Produção de Cana (milhões de toneladas)	% do Total	Produção de Açúcar (milhões de toneladas)	Produção de Etanol (bilhões de litros)
Sudeste	339,8	68,54%	21,56	15,49
Centro-Oeste	50,9	10,27%	2,1	2,98
Nordeste	63,7	12,85%	4,79	2,15
Sul	40,5	8,17%	2,51	1,87
Norte	0,9	0,18%	0,04	0,04
Total	495,8	100%	31,00	22,53

Fonte: Adaptado de UNICA, 2009.

Lopes (2009) menciona que, durante a safra de 2008/2009, existiam em território nacional cerca de 415 usinas de álcool e açúcar em operação e 73 em fase de montagem. Ainda segundo a autora, tais unidades industriais dividem-se em três tipos de instalações:

- a) as usinas de açúcar, que produzem exclusivamente açúcar;
- b) as usinas de açúcar com destilarias anexas, que produzem açúcar e álcool etílico (usinas mistas);

c) as usinas que produzem exclusivamente etanol.

A tabela 39 expõe o número de usinas de acordo com a região do país.

Tabela 39 - Usinas no Brasil - safra 2008/2009

Regiões	Usinas de Álcool e Açúcar	
	Unidades instaladas	Unidades em montagem
Norte	5	-
Nordeste	77	1
Sudeste	241	28
Centro-Oeste	58	41
Sul	34	3
Total	415	73

Fonte: Adaptado de Lopes, 2009.

A receita bruta anual dos setores de açúcar e etanol referente a Safra 2008/2009 foi de cerca de US\$ 20 bilhões, sendo que 54% desse valor foi gerado pelas vendas de etanol. Dos 22,53 bilhões de litros de etanol produzidos, 85% foi vendido para o mercado interno (UNICA, 2009).