**Programa de Pós Graduação em Energia – PPGE
EP - FEA - IEE – IF**

MARCO TSUYAMA CARDOSO

**DA ILUMINAÇÃO DAS CIDADES NO SÉCULO XIX ÀS
BIORREFINARIAS MODERNAS: HISTÓRIA TÉCNICA E
ECONÔMICA DA GASEIFICAÇÃO**

São Paulo 2013

MARCO TSUYAMA CARDOSO

**DA ILUMINAÇÃO DAS CIDADES NO SÉCULO XIX ÀS BIORREFINARIAS
MODERNAS: UMA CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA GASEIFICAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Instituto de Energia e Ambiente / Escola Politécnica / Instituto de Física / Faculdade de Economia e Administração) para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Patrícia Helena Lara dos Santos Matai

Versão Corrigida

São Paulo

2014

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

FICHA CATALOGRÁFICA

Cardoso, Marco Tsuyama.

Da iluminação das cidades no século XIX às biorrefinarias modernas: história técnica e econômica da gaseificação./ Marco Tsuyama Cardoso; orientadora Patricia Matai. – São Paulo, 2013.

125 f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Energia)
EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo.

1. Gaseificação. 2. Mudança climática. 3. Biomassa 4. Processo de Fischer-Tropsch I. Título.

Folha de Aprovação
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA

MARCO TSUYAMA CARDOSO

“Da iluminação das cidades no século XIX às biorrefinarias modernas: história técnica e econômica da gaseificação”

Dissertação defendida e aprovada pela Comissão Julgadora:

Profª Drª Patrícia Helena Lara dos Santos Matai – PPGE/USP

Orientadora e Presidente da Comissão Julgadora

Prof. Dr. Carlos Alberto Gurgel Veras - UNB

Drª Sonia Seger Pereira Mercedes – IEE/USP

Dedicatória

Dedico esta dissertação à minha filha Letícia e, em nome dela, a todas as crianças e gerações futuras que terão em nós os atores de um passado decisivo para o seu futuro bem estar.

Agradecimento

Agradeço a inspiração e a compreensão da minha família Alessandra Felix Cardoso e Letícia Felix Tsuyama Cardoso tanto no processo de mestrado, quanto nas demais atividades profissionais.

Também agradeço imensamente a dedicação, paciência e compreensão da minha Professora Orientadora Patrícia Matai e, em nome dela, a generosidade de todos os professores do Programa de Pós Graduação de Energia da Universidade de São Paulo, que dividiram informações essenciais para a minha formação do setor energético.

Para a minha entrada no programa foram fundamentais os incentivos de Marco Paupério (*in memoriam*), Profa. Virgínia Parente e Hugo Oliveira, aos quais agradeço pela insistência.

Por fim agradeço o apoio incondicional de meus pais Rubem Sampaio Cardoso e Luiza Harue Tsuyama Cardoso e de meu irmão Ivan Tsuyama Cardoso na construção deste e de outros conhecimentos.

Resumo

CARDOSO, Marco Tsuyama **Da iluminação das cidades no século XIX às biorrefinarias modernas: história técnica e econômica da gaseificação** Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, 2013

Este trabalho tem como objetivo traçar um panorama geral da tecnologia de gaseificação ao longo da história. Inicialmente concebida para obter gás do carvão mineral e possibilitar uma iluminação pública mais eficiente, a gaseificação passou por várias fases. Na virada do século XIX para o XX, quando o *town gas* perdeu a iluminação pública para a eletricidade, a produção de gás passou a se voltar para aquecimento e cocção. Se novas possibilidades foram criadas a partir da descoberta da síntese de Fischer-Tropsch (que possibilitava a transformação do gás de síntese em líquidos que poderiam substituir combustíveis e matérias-primas para toda a cadeia petroquímica), a resolução dos problemas de logística do gás natural reduziu a importância do gás do carvão mineral também para o aquecimento e cocção. Crises de abastecimento de petróleo, o principal combustível do século XX, motivaram novas iniciativas e novas formas de utilização da gaseificação como, por exemplo, os gasogênios, que gaseificavam biomassa e carvão para movimentar veículos automotores especialmente durante a Segunda Grande Guerra. Já nos períodos de abundância de petróleo a tecnologia acabava por ser abandonada, uma vez que este era muito mais eficiente e conveniente. Na passagem do século XX para o século XXI, entretanto, as preocupações com as mudanças climáticas colocaram em cheque a contínua utilização de combustíveis fósseis entre os quais o petróleo. Nesse contexto abriu-se uma nova perspectiva para a gaseificação de biomassa, uma vez que esta, combinada com as possibilidades criadas pela síntese de Fischer-Tropsch, possibilitou a criação do conceito de biorrefinarias e de toda uma cadeia química a partir de matérias-primas não apenas renováveis, mas que também são residuais e não alimentares. Embora ainda haja desafios técnicos e, principalmente, econômicos a serem alcançados, outros desafios deste século – além da questão climática -, os resíduos sólidos urbanos podem constituir-se em uma importante fonte de insumos para o processo de gaseificação.

Palavras chaves: Gaseificação, gás de iluminação, processo de Fischer-Tropsch, gás de síntese, mudanças climáticas, biomassa

Abstract

CARDOSO, Marco Tsuyama **From city lighting in Nineteenth Century to the modern biorefineries: technical and economic history** Master's Dissertation – Graduate Program on Energy Universidade de São Paulo, 2013

This dissertation aims to deliver a systematic approach of the history of gasification process. Initially conceived to obtain coal gas to viabilize more efficient lighting for major cities, the gasification process has passed through several phases. During the Nineteenth Century, the town gas (the gas obtained from coal) has revolutionized night life in modern cities. At the turn of the Nineteenth Century, town gas lost public lighting to electricity, and gas from coal had to migrate to heating and cooking. New possibilities were created with the Fischer-Tropsch synthesis in the twenties. This process enabled the transformation of Syngas – a product of the gasification process – into any kind of hydrocarbon molecule. So, it could have been a useful substitute to oil, mainly during the oil supply crisis. The Twentieth Century was characterized by intense oil utilization in transport, mechanical forces, electricity generation and also creating products like plastic and asphalt. Gasification was seen as a very good alternative supply of raw material for these products, but in fact, the several oil supply crisis of the Twentieth Century were too short for make the gasification feasible. At the end of twentieth century another issue arose to boost gasification initiatives: climate change. Due the greenhouse effect and concerns about its consequences, researchers and companies started projects of biomass gasification to replace fossil fuels - which includes oil. So far, all these initiatives haven't shown up as feasible in commercial production, but the opportunity to create a fossil oil substitute from non food raw materials still involves a lot of effort.

Key words: Gasification, town gas, Fischer-Tropsch process, Syngas, Climate Change, biomass

Lista de figuras

Figura 6.1 - Tecnologias chave para reduzir as emissões de CO2 em função do cenário Quadro Blue	65
Figura 6.2 - Cenário Ecofys/WWF	66
Figura 7.1 - Tipo de gaseificadores	70
Figura 7.2 - Biorrefinarias integradas americanas baseadas em gaseificação	81
Figura 7.3 - Figura esquemática do processo da Enerkem	109
Figura 7.4 - Esquema simplificado da gaseificação do Plasma	112

Lista de Tabelas

Tabela 6.1 - Demanda mundial de energia por combustível em cenário de referência	63
Tabela 7.1 - Lista de biorrefinarias americanas	75
Tabela 7.2 - Lista de biorrefinarias da Task 42 da Agência Internacional de Energia	76
Tabela 7.3 - Lista de plantas de biocombustíveis avançados da Task 39	82
Tabela 7.4 – Lista de biorrefinarias do Conselho de Tecnologias de Gaseificação	88
Tabela 7.5 - Compilação das listas de plantas de gaseificação	89

Sumário

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS GERAIS	15
2.1. Objetivos específicos	15
3. METODOLOGIA	16
4. PRIMEIRA FASE DA GASEIFICAÇÃO: A GÊNESE DA INDÚSTRIA DO GÁS	17
4.1. A história dos recursos energéticos sólidos, a matéria-prima da gaseificação	18
4.2. A iluminação e o gás de iluminação	21
4.3. O desenvolvimento da tecnologia da gaseificação	23
4.4. A indústria do gás	25
4.5. Um caso brasileiro: o gás de iluminação nas duas maiores metrópoles brasileiras	27
4.6. A crise do gás de iluminação e a competição com outras fontes de iluminação	30
4.7. A mudança de paradigma na iluminação nas cidades no Brasil	32
4.8. O fim da primeira fase da gaseificação	34
5. A SEGUNDA FASE DA GASEIFICAÇÃO: OCUPANDO LACUNAS DO PETRÓLEO NO SÉCULO XX	36
5.1. A ascensão do petróleo para a sua hegemonia energética	37
5.2. A busca da conversão de combustíveis sólidos para substituir o petróleo	39
5.3. O gasogênio	42
5.4. O gasogênio no Brasil	44
5.5. A gaseificação no pós-guerra	47
5.6. Lições aprendidas da segunda fase da gaseificação	49
6. A GASEIFICAÇÃO NO CONTEXTO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS	52
6.1. A crise ambiental das mudanças climáticas	53
6.2. Usos modernos da biomassa	56
6.3. A competição internacional por novas tecnologias em combustíveis a partir da biomassa	60

6.4.	Perspectivas de longo prazo para a substituição do petróleo	62
7.	GASEIFICAÇÃO EM BIOMASSA: TECNOLOGIAS ATUAIS, PERSPECTIVAS FUTURAS E DESAFIOS PARA A APLICAÇÃO ATUAL	67
7.1.	Rotas tecnológicas atuais	68
7.2.	O conceito de biorrefinaria a partir da gaseificação	71
7.3.	Experiências mundiais	73
7.4.	Fracassos na terceira fase da gaseificação e aprendizado	93
7.4.1.	Projeto ARBRE	94
7.4.2.	Grève-in-Chianti	97
7.4.3.	Projetos não levados à diante no Brasil	98
7.5.	O segundo ciclo de fracassos da moderna gaseificação	99
7.5.1.	O caso Choren	100
7.5.2.	O caso Range Fuels	102
7.6.	Perspectivas futuras	103
7.6.1.	Suprimento de matéria-prima e resíduos sólidos urbanos	106
7.6.2.	Novas tecnologias e o uso de plasma	111
8.	PERSPECTIVAS BRASILEIRAS	114
9.	DISCUSSÃO E CONCLUSÃO	117
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
	GLOSSÁRIO	132
	ANEXO 1	135

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia da gaseificação tem mais de duzentos anos de história, mas até hoje se depara com inúmeros desafios para se consolidar, recebendo esforços para o aperfeiçoamento tecnológico apenas nas frações de tempo nas quais ocorrem crises de abastecimento das fontes de energia predominantes, em especial o petróleo.

Segundo Belgiorno et al. (2003), a gaseificação pode ser definida como uma conversão de um material carbonado (em estado sólido ou líquido) em um gás combustível. A conversão termoquímica muda a estrutura do carvão mineral ou da biomassa por meio de altas temperaturas. O agente gaseificador (outro componente gasoso inserido no processo) converte a matéria-prima por meio de reações químicas em um gás combustível basicamente composto de dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), hidrogênio (H_2), metano (CH_4), e vapor (H_2O).

O gás de síntese (mistura de CO e H_2) gerado, segundo Rajvanshi (1986) pode ser usado não só para mover motores de combustão interna para o aquecimento direto, mas também, através da síntese de Fischer-Tropsch, para a produção de metanol, amônia (fertilizante) e combustíveis sintéticos tais como gasolina e óleo diesel. As cadeias de carbono desses materiais são matéria orgânica de outras eras geológicas armazenado no petróleo. Quando o homem retira este carbono das camadas subterrâneas, ele tende a ir para a atmosfera como CO_2 , ainda que o seu uso não seja energético. Portanto, substituir a fonte da matéria-prima para toda a cadeia petroquímica tem relevante papel no controle de emissões (NEELIS et al. 2005).

Em um ambiente de necessidade de redução de emissões dos gases de efeito estufa para a atmosfera para mitigar o impacto antropogênico nas mudanças climáticas, a gaseificação da biomassa passa a ser potencialmente promissora não só para assegurar um aproveitamento energético mais eficiente, mas também para substituir e complementar a cadeia petroquímica, reduzindo a dependência do petróleo, não só na sua aplicação energética, mas também como fonte de matéria-prima. Entretanto, o estágio atual da tecnologia encontra-se bem aquém das expectativas. Diversos estudos técnicos e econômicos têm se voltado ao assunto para viabilizar técnica e economicamente a tecnologia. Experiências de laboratório e plantas piloto

surtem em todo o mundo no sentido de buscar soluções que visam à utilização adequada e extensiva da tecnologia.

As experiências do passado, entretanto, têm sido pouco exploradas para oferecer soluções. A partir do ponto de vista histórico, experiências mal sucedidas podem ser evitadas, rotas colocadas em segundo plano podem ser retomadas e, principalmente, a experiência passada pode inspirar soluções novas. Diferentemente de outras tecnologias de segunda geração para aproveitamento da biomassa, como a conversão biológica da celulose em açúcares (o etanol celulósico), o processo de gaseificação é bem conhecido e tem uma longa história.

O objetivo deste trabalho é apresentar, sob uma perspectiva histórica, de forma sistematizada, as razões que motivaram o uso da tecnologia, as dificuldades das rotas tecnológicas ao longo do tempo, buscando responder à pergunta fundamental: baseando-se nos conhecimentos históricos sistematizados, é possível perceber uma tendência efetiva da rota tecnológica da gaseificação?

Para tanto, a estrutura capitular foi dividida do seguinte modo: nos três primeiros capítulos estão colocados: a introdução, os objetivos gerais e específicos, e a metodologia. A partir do quarto capítulo é apresentado um panorama histórico da tecnologia. No quarto capítulo há um panorama do desenvolvimento inicial da rota tecnológica da gaseificação do carvão para a iluminação das cidades que alcançou o seu auge no século XIX. Já no quinto capítulo apresentam-se as experiências de gaseificação em um cenário de hegemonia energética do petróleo na qual a tecnologia apresenta-se como uma alternativa nos momentos de dificuldade de abastecimento do combustível fóssil. No sexto capítulo, descreve-se a inserção da variável das mudanças climáticas nas decisões energéticas oferecendo uma nova perspectiva para a gaseificação da biomassa. No sétimo capítulo são apresentadas as experiências já ocorridas neste cenário de busca por formas de reduzir o uso de matérias-primas fósseis. Nesse capítulo são abordadas não só iniciativas atuais, mas também as já encerradas. No oitavo capítulo há uma discussão sobre as perspectivas brasileiras neste cenário e no nono elementos para discussão e conclusões finais.

2. OBJETIVOS GERAIS

O objetivo deste trabalho é apresentar, sob uma perspectiva histórica e técnica, de forma sistematizada as razões que motivaram o uso da tecnologia, as dificuldades das rotas tecnológicas energéticas ao longo do tempo, buscando responder a pergunta fundamental: baseando-se nos conhecimentos históricos sistematizados, é possível perceber uma tendência efetiva da rota tecnológica da gaseificação?

2.1. Objetivos específicos

- Revisar e contextualizar as condições em que foi criada a tecnologia da gaseificação a fim de sistematizar as fases de aplicação da gaseificação para subsidiar o conhecimento histórico de pesquisadores;
- Identificar as experiências práticas do emprego da tecnologia da gaseificação, em especial da biomassa, e suas dificuldades ao longo do tempo;
- Pontuar a análise histórica com exemplos brasileiros nas diferentes fases da gaseificação a fim de subsidiar pesquisadores brasileiros e estrangeiros;
- Contextualizar a rota tecnológica da gaseificação diante da nova realidade criada em função do diagnóstico das mudanças climáticas de origem antropogênica e suas políticas de mitigação;
- Traçar um panorama geral mundial do uso de gaseificação na busca de conversão térmica de materiais não alimentares em bicomcombustíveis e biomateriais das modernas biorrefinarias;

3. METODOLOGIA

O presente trabalho se dividiu em duas partes: a) a primeira foi uma revisão de literatura, buscando sistematizar as informações históricas específicas da rota tecnológica da gaseificação. Essa revisão reuniu conteúdos de fatos históricos consolidados, relatados na literatura, mas ainda não reunidos em uma análise da evolução histórica da tecnologia da gaseificação; b) a segunda consistiu em uma reunião de informações de fontes variadas (reportagens, home pages, congressos, entrevistas e visitas técnicas) para aprofundamento do histórico recente das experiências mundiais, apresentando um painel geral do Estado da Arte, dos desafios e das tendências tecnológicas da gaseificação.

Com relação à primeira parte, percebeu-se logo de início que a tecnologia, embora antiga, passou por fases distintas com relação a diversos aspectos que vão desde os objetivos finais da aplicação da tecnologia, desenvolvimento tecnológico e a matéria-prima utilizada. Na primeira fase, que ocorre principalmente no século XIX, a gaseificação é voltada para a iluminação e se usa de carvão para gerar o gás que ilumina mais eficientemente do que os óleos. Na segunda fase, que ocorre durante o século XX, a gaseificação é utilizada basicamente na substituição do petróleo em momentos de escassez desse produto. Essa substituição na força motriz ocorre diretamente (gasogênios) ou através de tecnologias que surgiram no início do século de conversão do gás de síntese em combustíveis líquidos. Nessa fase, a matéria-prima utilizada era prioritariamente o carvão. Isso é o que difere a segunda fase da terceira, uma vez que, nesta terceira fase, a matéria-prima é prioritariamente a biomassa, uma vez que o objetivo é evitar a emissão de gases de efeito estufa em função das preocupações relacionadas às mudanças climáticas.

Esta situação definida na terceira fase é o pano de fundo da segunda parte deste trabalho. Neste cenário de busca de substituição do petróleo pela gaseificação de uma matéria-prima muito mais heterogênea e difícil de gaseificar do que o carvão, há uma grande dificuldade de obtenção de informações consolidadas. Duas levadas de iniciativas, separadas pelos níveis de expectativas criadas, acabaram em fracasso. Ainda assim, devido ao caráter estratégico da solução tecnológica, os fatores que levaram a esses fracassos são tratados como segredos industriais, dificultando a obtenção de informações que poderiam nortear experiências futuras. Com relação às experiências atuais, também compiladas nesse trabalho, as dificuldades são ainda maiores.

4. PRIMEIRA FASE DA GASEIFICAÇÃO: A GÊNESE DA INDÚSTRIA DO GÁS

Este capítulo trata da origem da indústria e das formas de uso final do gás como combustível. Atualmente associada à exploração, transporte e distribuição de gás natural, a indústria de gás tem origem na gaseificação de carvão para a iluminação das cidades.

Há registros que indicam que a descoberta do gás natural ocorreu no Irã entre 6000 e 200 a.C. Na Pérsia utilizava-se o combustível para manter aceso o "fogo eterno", símbolo de adoração de uma das seitas locais) e na China, o gás natural era conhecido desde 900 a.C e já utilizado em 211 a.C para secar pedras de sal. Os chineses utilizavam varas de bambu para retirar o GN de poços com profundidade aproximada de 1000 metros (SULGAS, 2012).

No Ocidente, entretanto, o gás como é conhecido, para os seus diversos usos surgiu da gaseificação de hidrocarbonetos sólidos. Nas primeiras experiências, as explicações dadas para a formação de gases combustíveis ao redor do carvão tinham caráter místico. Fato que pode ser explicado em função dos alicerces do Iluminismo – corrente filosófica na qual se baseou a ciência moderna - ainda não está muito bem assentados. Nesse ambiente, associar o gás à alma era quase inevitável. O próprio nome de gás, segundo Silva (2002 p. 55), tem origem controversa e pode ser tanto de *geist* (alma, em alemão), como *chaos* (vazio), mas as duas origens reforçam o impalpável e o essencial.

As matérias-primas do gás eram o carvão mineral e, menos frequentemente, a lenha hoje chamada de biomassa, que são fontes de energia primária. A combustão dessas fontes já gerava energia desde os primórdios da humanidade, no caso da lenha, e, no caso do carvão, a partir do século VIII a.C. na China. Mas somente a combustão desses materiais se mostrava ineficiente para várias utilizações surgidas no processo de libertação do homem dos limites da natureza, em especial a iluminação noturna. A gaseificação veio mudar este cenário e com ela surgiu a oportunidade da transformação dos combustíveis sólidos em outro combustível mais eficiente e apropriado para iluminação, aquecimento, cocção do que os combustíveis sólidos e líquidos até então usados: o gás.

4.1. A história dos recursos energéticos sólidos, a matéria-prima da gaseificação

Segundo Hemèry et al. (1993 p. 35 e 36), a era energética humana se iniciou com a descoberta e utilização do fogo, há mais de meio milhão de anos. A lenha possibilitou o manuseio do fogo como fonte de calor, de luz, e na cocção e tratamento térmico de materiais durante todo o processo de hominização que culminou há mais de 35 mil anos com o surgimento do Homo Sapiens. A lenha e o fogo permaneceram como fonte de luz e tratamento de materiais mesmo depois da passagem do período paleolítico para o neolítico, quando o homem melhorou o seu fluxo energético por meio da agricultura e domesticação dos animais.

Na antiguidade ocidental, enquanto inovações tecnológicas como a roda, o aproveitamento da energia das águas e dos ventos revolucionavam o transporte e a energia motriz humana, a iluminação, a cocção e o tratamento térmico de materiais permaneciam a cargo da combustão da lenha. As ricas cidades gregas, que não eram autossuficientes em lenha, sofriam com desabastecimentos periódicos, que incluíram a paralisação dos estaleiros de Pireu e as Minas de Laurion durante grande parte do século III a.C.

O carvão na Europa na Grécia antiga, provavelmente da Trácia e da Ligúria, não era de boa qualidade para fundir o ferro, mas suficiente para moldar o cobre (MILLER, 2005, p. 29). Já no Império Romano, o seu uso era limitado a regiões conquistadas com fartura do insumo como na Gália e Grã Bretanha. A abundância de madeira tornava o seu uso marginal, tanto que durante a idade média, o combustível foi praticamente redescoberto (MILLER, 2005, p. 30).

Foi na antiguidade chinesa, especialmente nos locais em que as coberturas vegetais não eram suficientes para o abastecimento humano, que ocorreram as primeiras utilizações da hulha no lugar da lenha tanto para a cocção (na China do Norte) como para a fabricação do bronze. A tecnologia alcançada durante o período Zhou Oriental (770 a 453 a. C.) permitia uma temperatura de 1100°C a 1200°C aos fornos da época. Tal capacidade tecnológica e energética possibilitou o desenvolvimento do ferro-gusa e do aço muito antes do mundo ocidental.

Entre 750 e 1100 d.C., enquanto a Europa começava a explorar em grande escala as suas florestas, “na China ocorre uma generalização sem precedentes do emprego de energias fósseis no quadro de uma protoindustrialização das regiões setentrionais” (HEMÈRY et al., 1993 p.94). A erradicação das florestas remanescentes levou a região a uma penúria crônica do carvão vegetal. Em torno de 1050, a hulha era de 30 a 50% mais barata que a lenha. Tal fato levou a novas inovações tecnológicas. No fim do século IX, inventou-se a coqueificação de carvão betuminoso, inicialmente para cocção, mas depois para a metalurgia chinesa que já no século XI produzia 125 toneladas de ferro por ano. Para efeito de comparação, a Europa, seis séculos depois produzia, ao todo, de 150 a 180 toneladas/ano. Nessa época, na China, o carvão mineral era a principal fonte de energia (MILLER, 2005, p. 29).

Na passagem do primeiro milênio, enquanto a China já usava prioritariamente o carvão como combustível, a Europa assistia outros saltos tecnológicos: a expansão agrícola e populacional avançava sobre as florestas em função de novas técnicas agrícolas (rotação trienal), de processamento mecânico (moinhos de água e de vento), e de transportes (nova forma de atrelamento animal). O auge do desmatamento europeu ocorreu entre os séculos XI e XIII, quando na Inglaterra, um feixe de lenha poderia custar o equivalente a um alqueire de grãos, devido à escassez de florestas (HEMÈRY et al., 1993 , p. 117, 149). Parte dessa crise deveu-se à proliferação das metalúrgicas que a esta época utilizavam três técnicas essenciais: o aço de cadinho inventado na Ásia Oriental no começo da era cristã, a têmpera, utilizada pelos galo-romanos e o recozimento, técnica que utilizava baixo forno a uma temperatura de até 1000°C, que se difundira nas grandes invasões no Ocidente Merovíngio (HEMÈRY et al., 1993 p. 127).

Por volta de 1200 d.C. ocorreram os primeiros usos industriais do carvão na Europa na forja de metais. Com o aumento da capacidade de transporte, o carvão podia chegar a preços mais atrativos aos ferreiros do que a própria lenha, cada vez mais escassa nas proximidades das cidades. Por volta de meados do século XVIII, Newcastle, no Reino Unido, já tinha se consolidado como importante polo de mineração, fazendo com que o carvão mineral ganhasse a alcunha de *sea coal*, para se diferenciar do carvão vegetal; isso porque enquanto o último era originário das florestas do continente, via flutuação, o carvão mineral vinha da ilha britânica por navegação (MILLER, 2005, p. 30).

O aumento na tecnologia de sopradores (movidos à energia hidráulica) permitiu o surgimento de altos-fornos já no início do século XIV. Os complexos protoindustriais criados

a partir da forja exigiam cada vez mais energia térmica e, portanto, lenha ou carvão. Como a lenha tornava-se cada vez mais escassa, é desse tempo a primeira estratégia de defesa florestal na França. Diante da situação insustentável, Filipe VI, a partir de um decreto real de 29 de março de 1346, decidiu não mais conceder nenhum novo direito de uso das florestas francesas (HEMÈRY et al., 1993 p. 128).

Por outro lado, na Inglaterra, o uso do carvão, já mostrava os efeitos da poluição. Em 1257, a Rainha Eleanor teve que sair do castelo de Notingham por causa da fumaça que vinha da cidade. Em 1283 e 1288, os cidadãos de Londres reclamaram da qualidade do ar, e em 1307, uma proclamação real proibiu o uso de carvão no sul de Londres, porém o dilema que iria acompanhar a metrópole por quase 700 anos estava estabelecido: ou se acabava com as florestas remanescentes, ou se tolerava o carvão (MILLER, 2005, p. 31).

Nos séculos XIV e XV, um recuo demográfico atenuou a situação florestal na Inglaterra. Florestas recuperaram espaços, porém a partir do século XVI, com a recuperação demográfica e das atividades protoindustriais, a lenha voltou a desaparecer e os ingleses tiveram que recorrer ao mineral já conhecido, mas desagradável em função do odor emitido na sua queima (HEMÈRY et al., 1993 , P. 152). Sucumbindo à realidade da escassez florestal, em 1615, o governo inglês encorajou a troca da lenha pelo carvão mineral quando possível. Com esse incentivo uma nova tendência na construção urbana começava a se consolidar e iria durar por séculos: casas com chaminés de tijolos para exalar os fumos do carvão (MILLER, 2005, p. 32).

A migração para a hulha, que passou a ser utilizada no aquecimento doméstico, em vidraçarias, olarias e cervejarias, foi rápida. Só depois do desenvolvimento realizado por Abraham Darby de um processo de produção de ferro gusa utilizando coque, em 1709, houve ampliação no uso na metalurgia. Aliado ao custo progressivamente mais baixo do que o crescente custo da lenha, a facilidade do transporte desse novo combustível também favoreceu a sua disseminação especialmente na Inglaterra, que tirou enorme proveito da diferença de custos entre as matérias-primas energéticas para estabelecer a sua hegemonia (HEMÈRY et al., 1993 p. 152).

Também na França, ainda que em menor intensidade, a crise de abastecimento de lenha se agravava - especialmente em certas regiões como Paris. Em 1558, as cartas patentes de Henrique II impuseram a obrigação de replantar florestas exploradas, e organizaram uma

verdadeira jurisdição da energia nos tribunais de Águas e Florestas (HEMÈRY et al., 1993 , P. 152). A insatisfação com as forjas que consumiam a maior parte da lenha disponível gerou insurreições em 1731 e 1776 e questionamentos legais. Charles de Wendel, mesmo produzindo exclusivamente peças para ao exército do rei, teve que diminuir a sua produção em função de um processo movido por camponeses. Em 1789, ano da queda da Bastilha, havia inúmeros processos judiciais contra indústrias consumidoras de lenha, reivindicando a sua completa supressão. A migração das indústrias francesas para regiões carboníferas já havia começado ainda que tardiamente (um século depois da inglesa) e em menor intensidade. Em 1789 queimou-se apenas 840 mil toneladas de carvão mineral, frente a 20 milhões de toneladas de carvão vegetal. A disseminação do carvão mineral na França só se deu com a revolução ferroviária, já no século XIX, uma vez que as ferrovias tornaram o produto nacional competitivo com o inglês.

A máquina a vapor, inovação tecnológica comumente associada à Revolução Industrial, teve um início intimamente ligado ao carvão mineral, uma vez que os primeiros exemplares criados por Savery (1698) e Newcomen (1712) não só usavam o carvão como combustível, mas também eram empregadas para esgotar as águas subterrâneas das minas do mineral (HEMÈRY et al., 1993 , P. 160). Porém só com as inovações de Boulton e Watt é que a máquina a vapor ganhou maior eficiência e pôde ser utilizada para outros fins. O trem, outra inovação da época, ajudou a disseminação do carvão ainda mais, viabilizando economicamente o transporte do energético frente à madeira que era transportada por flutuação nos rios. Na mesma época da revolução ferroviária (a partir de 1830) também a navegação a vapor se consolidava, facilitando a disseminação do carvão como energético.

4.2. A iluminação e o gás de iluminação

Na maior parte da história humana, a iluminação noturna era bastante limitada. A longa evolução partiu do domínio do fogo, passando pelas primeiras ferramentas de controle deste, como as primeiras lamparinas - que não passavam de uma pedra capaz de carregar a gordura que queimava. Segundo Beaune e White (1993, apud NORDHAUS, 1996),

lamparinas primitivas existiam já no período Paleolítico. Em pesquisas arqueológicas ao redor do mundo, quase 200 lamparinas-primitivas que datam entre 40.000 a 15.000 a.C.

Na Grécia, lamparinas de cerâmica ou bronze começaram a substituir tochas em 700 a.C.. Terracota decorativa foi outro material usado para lamparinas. O uso desse material se iniciou no Império Romano.

As primeiras notícias de comercialização do combustível que queimava nas lamparinas vêm da Babilônia em 2000 a.C. segundo Dubberstein (1938, apud NORDHAUS, 1996). Estes usavam óleo de gergelim para iluminar templos, embora fosse um combustível caro para o uso residencial.

Segundo Nordhaus (1996) “A partir do período greco-romano até ao século XIX, o instrumento de iluminação mais avançado e prestigiado era a vela de cera”. Dominar a escuridão, na Idade das Trevas, não só era difícil, mas também alcançava também um aspecto simbólico. O mesmo autor ressalta a importância desse artefato: “era marca da nobreza, na procissão de se deitar, ir seguindo uma vela. Fazer vela era uma profissão respeitada na Idade Média”.

Fouquet e Pearson (2006) ressaltam também a importância da vela mesmo no início da era industrial na principal potência da época: a Inglaterra. À exceção da fogueira central, para cozinhar e aquecer, até o século XIX, as velas permaneciam como principais fontes de luz artificial das residências inglesas. As velas eram, na sua maioria, feitas de sebo e emitiam muita fumaça e cheiro mais desagradável do que as velas de cera de abelha que, mais caras, eram usadas nos templos ou ocasiões especiais, em casas mais abastadas.

Nesse país, uma taxa sobre o número de janelas nas construções instituída em 1696 - e revisada em 1747, isentando os mais pobres – também contribuiu para a indústria de iluminação artificial. A ideia era refletir a riqueza do contribuinte, mas acabou por deformar as construções, aumentando a importância da luz artificial, mesmo durante o período diurno (MILL, 2002 apud FOUQUET; PEARSON, 2006). As velas também foram objetos de impostos e regulamentações. A documentação referente a estas regulamentações ajudou os pesquisadores atuais a estimar o consumo de luz artificial nessa época. Mesmo criticada por Adam Smith – tido como pai da economia moderna - a taxa sobre velas perdurou até 1830. Ainda que a vela tenha passado por alguma melhoria na sua eficiência como processos de

moldagem e entrançamento de pavios, seus avanços não foram significativos durante o período em que a taxa vigorou. O mesmo ocorreu na França, que teve imposto semelhante. Embora uma empresa de velas tenha chegado a financiar pesquisas para produzir uma mistura de óleos vegetais e animais - chamada estearina - que produzia luz mais forte com menos fumaça e cheiro, os avanços foram pequenos.

O grande marco da iluminação foi mesmo o desenvolvimento do gás de iluminação usado para iluminar vias e residências (NORDHAUS, 1996). O gás de iluminação é, segundo Hemery et al. (1993 p. 174), “uma forma secundária obtida pela destilação do carvão vegetal ou da hulha”. Na Inglaterra, a iluminação à gás foi instalada em 1802 nas oficinas de Watt e Bolton e em 1805 em algumas fiações de Manchester. A distribuição desse gás era feita por rede o que a tornava eminentemente urbana. A iluminação rural e dos países não industrializados ainda iria depender de velas até que surgisse o petróleo iluminante, que começou a ser produzido a partir da sua descoberta, em 1859, em uma jazida pouco profunda em Titusville, Estados Unidos. Em seu início, o petróleo, na forma de um derivado denominado querosene permaneceu com a função de iluminar até a disseminação dos veículos automotores. Até o fim do século XIX, a gasolina era considerada um “subproduto da refinação do petróleo”. Somente em 1904, o preço da gasolina superou o do querosene (HEMÈRY et al., 1993 p.194).

4.3. O desenvolvimento da tecnologia da gaseificação

Registros sobre o gás obtido do carvão datam do início do século XVII (MILLER 2005 p. 247). O próprio termo gás teria sido criado pelo químico Jean Baptiste Van Helmond, ainda em 1609, que percebeu que o carvão quando aquecido era envolvido por um gás. Por ser esse gás um combustível invisível, foi imediatamente ligado com a ideia de alma, tanto pelo seu aspecto etéreo e invisível como pela associação com a ideia de essência. O relato da experiência de destilação do carvão do pároco inglês John Clayton em 1684 mostrou claramente esse fato. “Observei que o espírito pegou fogo” constatou o pároco com assombramento (SILVA, 2002 p. 55).

O desenvolvimento da tecnologia de gaseificação ocorreu simultaneamente através de várias tentativas, principalmente a partir do carvão. Em 1669, Thomas Shirley conduziu experiências com hidrogênio carburado e, 30 anos depois, Dean Clayton obteve gás de carvão por experimentos pirolíticos. As primeiras patentes referentes à gaseificação são de Robert Gardner em 1788 e John Barber em 1791. Gardner sugeriu a aplicação de calor em resíduos de fornos para aumentar o vapor, mediante a combustão dos produtos aquecidos em uma caldeira, enquanto Barber apresentou o uso de gás produzido para uma máquina de combustão interna (KAUPP; GOSS, 1981).

Experimentos de gaseificação da madeira ou para usar os gases obtidos a partir de carbonização da madeira começaram no final do sec. XVIII: em 1798, Lebon tentou gaseificar madeira. Em 1801, Lampadius provou a possibilidade de se utilizar os gases residuais que escapam carbonização de madeira. Fourcroy, em 1804, mencionou o processo de geração de gás de água por reação de água com um leito de carvão quente. Cinco anos depois, Aubertot verificou que os gases de chaminé de alto-fornos podem ser queimados e utilizados para aquecer minério e queimar cal. No início do século XX, a tecnologia de gaseificação de madeira foi intensificada, principalmente para assegurar o abastecimento de gás que não dependessem das fontes de carvão mineral nas colônias dos impérios britânico e alemão (KAUPP; GOSS, 1981).

No entanto, o primeiro uso confirmado de gás produto de carvão foi relatado em 1792. Neste ano, Willian Murdock (ou Murdoch) usou gás de carvão para iluminar uma sala em sua casa e com isso deu ao gás de carvão a função que duraria por muitos anos, não só na Inglaterra, mas no mundo todo (KAUPP; GOSS, 1981). Murdock era um engenheiro que trabalhava na Boulton & Watt, empresa que produzia máquinas a vapor na cidade de Birmingham. De 1802 a 1806, a firma desenvolveu a tecnologia. O gás produzido do carvão tinha aproximadamente 50% de hidrogênio, com 3% a 6% de monóxido de carbono e o restante de metano e dióxido de carbono (BREAULT, 2010).

As plantas iniciais utilizavam fornos de ferro fundido chamados retortas, nos quais o carvão era destilado, liberando metano e etileno e hidrogênio, junto com outros gases, óleo e compostos de amônia e alcatrão. Os gases de iluminação eram lavados, passando por água que removia o alcatrão e, então, eram armazenados em um reservatório chamado gasômetro. Por volta de 1910, as plantas de gás passaram a incluir purificadores que continham uma solução aquosa de hidróxido de cálcio através da qual o gás passava para remover ácido

carbônico e sulfeto de hidrogênio. Esse processo de gaseificação produzia vários resíduos, inclusive uma solução aquosa de cal e outras substâncias. Os fluidos de alcatrão e amônia, chamados licor amoniacal, eram outros compostos do efluente. Com relação às emissões atmosféricas havia os fumos de chaminé das retortas e também a poeira gerada quando estas eram abertas para limpeza e carregamento de carvão (TOMORY, 2012 p. 32).

Apesar dos impactos ambientais, a gaseificação do carvão, no início do século XIX, criava uma importante indústria do gás inicialmente baseada na iluminação pública das principais metrópoles mundiais. A primeira rua iluminada foi a Pall Mall, em Londres, em 28 de janeiro de 1807 (BREAULT, 2010). Não muito tempo depois, a iluminação do gás alcançaria outras ruas londrinas e outras metrópoles mundiais.

4.4. A indústria do Gás

Em 1804, o empresário alemão Frederick Winsor reuniu um grupo de investidores para formar uma companhia de gás de iluminação. A idéia era produzir gás e distribuí-lo para os consumidores através de uma rede de tubulações subterrâneas. Essa foi a origem da Gas Light and Coke Company (GLCC), que recebeu licença do parlamento britânico em 1812. A partir daí os gaseificadores, que a essa altura eram relativamente pequenos e apenas usados em fábricas, passaram a ser maiores e construídos no meio das cidades que utilizariam essa forma de iluminação (TOMORY, 2012 p. 32).

Em 1815, a GLCC já tinha aberto três plantas gaseificadoras, uma delas em Westminster. Esta recebeu a permissão de jogar seus efluentes no Tâmsa. Não muito tempo depois, os vizinhos da rua Peter Street (onde estava localizada a fábrica) perceberam os efeitos tóxicos dos componentes de enxofre desses efluentes. Já em abril de 1816 ocorreu a primeira ação privada contra danos causados pelos resíduos à propriedade de um vizinho contra a empresa. Outros vizinhos também começaram a ajuizar ações. Em 1817, saía o primeiro veredicto a favor dos apelantes Cosser e Johnson (TOMORY, 2012 p. 35). Apesar disso e de outras derrotas, a empresa manteve o seu procedimento, apenas realocando seus efluentes para uma canalização por um trajeto mais ao sul do rio Tâmsa e também comprou os terrenos de alguns queixosos, como estes demandavam. Nas vizinhanças

imediatas permaneceram alguns moradores sem recursos para ajuizar a companhia que, com o aumento da demanda de gás, tornava-se cada vez mais rica (TOMORY, 2012, p. 35). Além disso, os odores e a constante fuligem nas casas reduziam significativamente o valor das propriedades. Assim, a área situada próxima ao parlamento foi se degradando.

Antes das ações privadas, em 1814, outra companhia denominada City of London Gas Light and Coke Company começou a operar em Londres. Essa empresa foi a primeira a ter contra si uma ação pública movida contra uma empresa produtora de gás. Em 1815, a paróquia de Saint Bride moveu uma ação pública que fez com que a planta fosse movida para mais perto do rio e fossem realizadas outras melhorias tais como o aumento das chaminés. Mesmo com a leniência das autoridades (comportamento típico do século XIX de favorecimento às indústrias e empresas de infraestrutura), por volta de 1817, apenas cinco anos depois da primeira companhia de gás se instalar em Londres, a indústria já tinha uma péssima reputação (TOMORY, 2012, p. 38).

Mesmo assim, o crescimento da indústria continuava. Em 1816, antes mesmo da licença concedida pelo Parlamento à London Gas Light and Coke Company, que ocorreu em 1817, foi dada a licença para a Exeter Gas Light and Coke Company. Uma única empresa em Glasgow foi criada em 1817. Porém no ano de 1818 foram mais 11 concessões para empresas de *town gas*. Daí em diante, o crescimento das plantas de gás de iluminação foi ininterrupto, mas não sem resistência dos moradores das redondezas das plantas. Em 1823, quando investidores propuseram a instalação de uma companhia de gás em Nova York, alguns habitantes apresentaram inicialmente um protesto e, não tendo resultado, entraram com uma ação pública imediata contra a empresa. No mesmo ano, em Londres, um juiz se recusou a absolver uma empresa de gás de uma ação impetrada, apesar do não aparecimento dos demandantes, justificando interesse público (TOMORY, 2012, p. 43).

A resistência não só de habitantes, mas de técnicos e da imprensa, exigiam uma ação dos legisladores que até 1818 tinham se limitado a impor uma canalização específica para os efluentes. Em 1821, com pressão da indústria pesqueira, determinou-se, no ato de licença da South London Gas Light and Coke Company, a proibição de emissão de efluentes líquidos no esgoto comum e a emissão em corpos d'água. A partir daí todas as licenças passaram a conter essas cláusulas. Em 1822, essa proibição fez parte de um projeto de regulação nacional barrada na *House of Commons*, onde a indústria era fortemente representada (TOMORY, 2012, p. 46). Porém a pressão continuava e a indústria buscava soluções técnicas para

minimizar os efluentes. As alternativas iam desde a utilização de cal seco nos purificadores, até a evaporação do efluente líquido com o calor dos gaseificadores. A solução recorrente, entretanto, permanecia desaguar os efluentes nos rios já que as penalidades eram ínfimas e não havia autoridades designadas para a regulação. Só a partir do conjunto de reformas do início dos anos 1830 - em que as autoridades municipais passaram a ter como atribuição a regulação da iluminação é que as companhias de gás passaram a ser reguladas. A questão do impacto ambiental desses primeiros gaseificadores virou um exemplo de embate entre o progresso industrial e a qualidade ambiental, especialmente porque os impactos se davam no meio das próprias cidades. Entretanto, em uma sociedade que demandava a diminuição das limitações das atividades noturnas, o apelo por iluminação mais eficiente era maior. Com isso, a indústria do gás de iluminação se espalhava por diversos países. Em 1882, só no Reino Unido havia 500 empresas de gás manufaturado (PINTO JR., 2007, p. 247).

Nos Estados Unidos o crescimento foi vertiginoso. A Baltimore Gas Company foi a primeira empresa a se instalar em solo americano, em 1816 (MILLER, 2005, p. 147). A iluminação a gás logo se espalhou em toda a costa leste. Boston, em 1821, Nova York, em 1823-25, e Filadélfia, em 1841, abriram o caminho para a expansão dessa tecnologia no país que, em 1866, que teria 970 empresas de iluminação e gás manufaturado (PINTO JR., 2007, p. 247), iluminando 46 cidades. Assim, a tecnologia se expandia, representando o desenvolvimento tecnológico que viabilizaria atividades noturnas nas grandes metrópoles do século XIX.

4.5. Um caso brasileiro: o gás de iluminação nas duas maiores metrópoles brasileiras

Quando chegou ao Rio de Janeiro, em 1854, por meio de uma iniciativa do Barão de Mauá, o gás de iluminação produzido a partir do carvão mineral visava tentar reverter um quadro de escuridão persistente nas cidades brasileiras desde a sua colonização. Quando, ainda no tempo dos vice-reis, o Rio de Janeiro passou a ser a capital brasileira, a sua população era de apenas 30 mil habitantes. Nesse tempo, a iluminação noturna se limitava às velas nos templos religiosos. Antes da chegada de Dom João VI à cidade, em 1808, a única

iniciativa de iluminação pública contava com 100 lampiões - cujos combustíveis eram azeite de peixe, óleo de mamona ou de baleia - localizados no centro da cidade. Os lampiões, além da luminosidade fraca, ficavam distantes entre si 50 metros, o que não alterava muito o cenário de escuridão da capital brasileira (MELO FILHO, 2005 p. 16). Melhorias sem muita eficácia foram realizadas durante o período em que o Rio de Janeiro foi capital do império tanto luso-brasileiro, quanto apenas brasileiro (depois da independência, no Primeiro Império e na Regência). Porém, a primeira iniciativa para trazer o gás que já iluminava diversas cidades europeias e norte-americanas, data já do segundo império.

Em 1834, uma concessão foi dada a dois ingleses, Carlos Grace e Guilherme Gover, para que instalassem um sistema de iluminação a gás na cidade. A meta era instalar 1500 lampiões em três anos. A iniciativa não vingou por resistência e incredulidade da própria comunidade. Não obstante, houve a troca de 19 lampiões de azeite de peixe para gás. Uma segunda tentativa, em 1840, falhou também. Expandiu-se apenas a quantidade de lampiões de azeite de peixe. Com a transferência do serviço de iluminação para o Ministério da Justiça, considerando-se que grande parte do apelo pela iluminação, já dizia respeito à segurança, deu-se a concorrência que iria mudar o cenário. Em 1849, Irineu Evangelista de Sousa, o futuro Barão de Mauá, conseguiu a concessão. O contrato foi assinado em 1851 e, em 1854, a recém-fundada Companhia de Iluminação a Gás (atual CEG) convocou o público carioca para presenciare a inauguração da rede (MELO FILHO, 2005, p. 23).

A fábrica de gás que começou a ser construída em 1852, localizava-se na Rua do Aterro (atual Avenida Presidente Vargas) numa região ainda não urbanizada, com muito mato e uma lagoa (que depois foi drenada para o rio do Mangue) e abastecia inicialmente uma rede de 20 km. No mesmo ano da inauguração, a Companhia já assinava contrato para uma área ainda maior. O entusiasmo com o gás traduzia-se em crescimento significativo da sua utilização. Em 1857, a rede fornecia gás para 3027 lampiões, 3200 residências e três teatros. Vinte anos depois, os números saltaram para seis mil lampiões, 10 mil residências e cinco mil estabelecimentos públicos em uma rede de 190 quilômetros de ruas iluminadas (MELO FILHO, 2005, p. 56).

Em 1865, o Barão de Mauá vendeu a companhia de gás para a companhia inglesa Rio de Janeiro Gaz Company Limited que também venceu a nova concorrência (a licença tinha o prazo de 20 anos) em 1874. Nessa época, o gás começava a alcançar outras cidades, não só por redes de gás como ocorreu com a incipiente cidade de São Paulo, que inaugurava sua

primeira planta em 1872, mas também com aparelhos especiais como o Globe para se produzir gás em pequena escala e, assim, abastecer subúrbios e áreas rurais até então não cobertos pelos serviços de gás (MELO FILHO, 2005, p. 69). As tecnologias descentralizadas para a geração de gás já existiam e, em São Paulo, era possível encontrar um equipamento importado de Chicago chamado *Machina Standard Vacuum Airgaz*. A máquina que gerava gás de forma descentralizada a partir da nafta, benzina ou gasolina (SILVA, 2002, p. 51).

Mas a indústria do gás e suas redes de *town gas* dominavam a gaseificação. Em São Paulo, a São Paulo Gas Company, depois de conseguir a concessão pela iluminação na região central da cidade em 1869, iniciou a sua produção de gás em 1872. A produção seguiu o padrão comum de produzir o gás na chamada casa das retortas e armazená-lo em um gasômetro. Com o rápido aumento do consumo, a empresa passou a enviar o gás por tubulações subterrâneas até o Complexo das Figueiras onde era armazenado em dois outros gasômetros (inaugurado em 1880 e 1886), cuja estrutura ainda existe no Parque Dom Pedro – hoje região central da cidade (MAGNANI, 2007). O crescimento do uso do gás de iluminação refletiu o grande crescimento da cidade cuja população cresceu de 30 mil habitantes, em 1872, para mais de 1,3 milhões de pessoas em 1940, ocasião em que a eletricidade já estava consolidada na função de iluminar a cidade.

Quando chegou, em 1872, o gás substituiu a parca iluminação de azeite de peixe e mamona. Outras tentativas de iluminar a cidade que ainda era apenas um entreposto comercial entre o interior cafeeiro e o porto de Santos já haviam ocorrido, mas sem muita eficácia. Em 1847, houve a tentativa de contratar os serviços de iluminação por hidrogênio líquido oferecidos pelo comerciante Afonso Miller (SILVA, 2002, p. 35). Em 1863, houve mais uma tentativa de trazer uma iluminação pública compatível com as existentes em outras metrópoles do mundo. Nesse ano, os empresários José Dutton e Francisco Taques Alvin foram contratados para fornecer iluminação a gás de hidrogênio carburado para a rede pública. Todavia, a iluminação nos moldes das outras metrópoles só foi possível quando Dutton e Taques Alvin passaram os seus direitos e obrigações para a companhia inglesa São Paulo Gas Company.

A consolidação do *town gas* na cidade de São Paulo coincidiu com a sua mudança de vocação. A antiga cidade que centralizava o comércio de café converteu o fluxo de recursos em infraestrutura e industrialização e com isso passou a atrair a atenção dos grandes grupos empresariais. Mais à frente, quando ocorreu a disputa entre gás e eletricidade pela iluminação

pública e privada, São Paulo já se destacava como grande centro industrial, atraindo antes mesmo que a capital federal, a atenção das multinacionais de eletricidade. O fenômeno de competição com a eletricidade que ocorria mundialmente iria afetar significativamente tanto a São Paulo Gas Company, quanto a Société Anonyme Du Gaz do Rio de Janeiro, que viria a adquirir a Rio de Janeiro Gaz Company Limited em 1885.

4.6. A crise do gás de iluminação e a competição com outras fontes de iluminação

Depois de setenta anos de hegemonia e expansão, o gás de iluminação obtido a partir da gaseificação do carvão, passou a enfrentar concorrência. Em 1879, Edison apresentaria o princípio da lâmpada incandescente, mas segundo ele mesmo, para competir com o gás, muito desenvolvimento tecnológico seria requerido, bem como a fabricação de um filamento de resistência de 100 Ohms (PINTO JR., 2007, p. 149). A novidade, porém, já atraía investimentos e em 1882 foi montada a primeira rede de iluminação elétrica em Wall Street.

Na competição com o gás de iluminação, a eletricidade ganhou força com o aumento da escala. Em 1878, Werner Siemens já apresentara a primeira ferrovia eletrificada, indicando assim caminho para aplicação motriz da eletricidade (HEMÈRY et al., 1993 p. 183). Outras aplicações na química pesada e na siderurgia surgiram a seguir, mas o grande passo para o ganho de escala se deu em função do surgimento dos alternadores polifásicos de corrente alternada, criação de Tesla em 1894. A corrente alternada viabilizou não só os motores industriais elétricos de corrente alternada, mas também um sistema interligado de grandes distâncias, em que a geração poderia estar bem distante do centro consumidor, produzindo grandes volumes de energia para um grande número de consumidores (PINTO JR., 2007, p. 149).

Outro grande benefício da eletricidade na sua busca por escala foi a sua utilização industrial. Com os motores elétricos de corrente alternada, foi possível acoplar os motores às ferramentas. Não era mais necessário ligar a ferramenta à máquina a vapor ou à turbina e fazê-la funcionar simultaneamente com as outras ferramentas em um complexo sistema de

engrenagens e correias de transmissão (HEMÈRY ET AL., 1993 , p. 183). A eletricidade se mostrou mais rápida no seu transporte e mais adequada às necessidades de consumo e, portanto, apresentou grande vantagem em relação às tecnologias baseadas em carvão. Os preços, alcançados com os ganhos de escala, demonstravam a vantagem da eletricidade sobre o carvão. Na França, em 1913 o preço de uma tonelada de carvão era o equivalente a 91 kWh de tarifa residencial de energia elétrica. Vinte e cinco anos depois, em 1938, a mesma quantia equivalia a 240 kWh de energia elétrica para o mesmo segmento (p.185).

O ganho de competitividade da eletricidade fez com que o uso final do gás migrasse para o aquecimento e cocção. Os fogões, que já existiam desde 1837 na Europa e nos Estados Unidos e tinham o seu uso restrito a restaurantes e hotéis, passaram a ser utilizados em residências a partir da década de 1880 (SILVA, 2002, p. 39). O gás manufacturado permaneceu com esse papel até que o gás natural viesse a substituí-lo já em meados do Século XX.

Embora a primeira utilização de gás natural tenha ocorrido ainda em 1821, nos Estados Unidos, onde uma jazida de gás foi descoberta perto de Fredonia, Nova York, isso representou um acontecimento isolado, já que não havia a tecnologia necessária para viabilizar o transporte do gás. Deste modo, o aproveitamento energético do gás durante todo o século XIX exigia uma jazida próxima de uma aglomeração urbana e ainda assim as reservas eram rapidamente exauridas em função de vazamentos (PINTO JR., 2007, p. 249). A viabilização do aproveitamento do gás natural necessitava do desenvolvimento tecnológico dos gasodutos. Isso ocorreria somente ao longo do século XX. Na metade da década de 1920, nos Estados Unidos, ainda 20% do abastecimento de gás era proveniente do carvão. Antes da Segunda Guerra Mundial ainda havia cerca de 20.000 produtores de gás no território americano (MILLER, 2005, p. 147). Neste país, a expansão da utilização do gás natural se viabilizou com a implantação do sistema de tubulação de gás que ligou o Texas ao nordeste americano no período pós-guerra. O sistema depois se expandiu para a costa oeste (RISTINEN; KRAUSHAAR, 2005, p. 45) vindo a consolidar a indústria do gás natural. Resolvido o problema de logística, o gás pode ser usado com grande vantagem econômica e ambiental frente ao gás sintético do carvão.

No mesmo período em que os Estados Unidos expandiam a sua rede de gasodutos, a indústria britânica do gás de carvão perdia a competitividade frente a outros combustíveis (RUSSELL; PROBERT, 1988, p. 265). A mesma situação se observou no resto da Europa com os preços baixos do petróleo no pós-guerra. As descobertas dos campos de gás natural de

Groningen na Holanda em 1959 e do Mar do Norte britânico, a partir de 1965 iriam mudar o perfil da indústria de gás europeia que, ao migrar para o gás natural e abandonar a gaseificação do carvão, ganhou nova perspectiva.

Outros fatores, a partir da década de 1970, mudaram definitivamente a opção tecnológica e o perfil da indústria de gás europeia. Descobertas de campos na Noruega, que até então não tinham mercado suficiente para o seu gás, coincidiram com as crises do petróleo. Os dois acontecimentos criaram uma grande rede de tubulações que levou o gás norueguês até o restante da Europa. Concomitantemente, na antiga União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), as tubulações do gás siberiano se aproximavam da Europa Ocidental, embora houvesse ainda a resistência devido à Guerra Fria. Já na década de 1980, um gasoduto ligou o norte da África à Europa Mediterrânea aumentando ainda mais as possibilidades do uso do gás natural (STERN, 2011).

4.7. A mudança de paradigma na iluminação nas cidades no Brasil

Já no início das suas atividades, a The Sao Paulo Gas Company percebia os limites do uso na lenha na cozinha paulistana, especialmente com a progressiva escassez de florestas próximas e necessidades de buscar aquele combustível em locais cada vez mais distantes como, por exemplo, Santo Amaro, distante 16 km do centro da cidade (SILVA 2002, p. 49). As empresas, entretanto, focadas em iluminação, demoraram a colocar um plano de diversificação dos produtos. A Societè Anonyme Du Gaz do Rio de Janeiro passou a incentivar o uso doméstico do gás só em 1892 (quase quarenta anos depois da primeira planta de gaseificação na cidade), com a promoção de palestras e demonstrações de uso. Em São Paulo, esse tipo de uso não estava previsto no contrato de concessão original – fato que seria corrigido na primeira prorrogação em 1897.

A chegada da eletricidade, com inúmeras vantagens competitivas, pressionava as empresas de gás que ainda focavam esforços na atividade de iluminação. Já na segunda metade do século XIX, ainda que de forma incipiente, a cidade de São Paulo começou a receber serviços de eletricidade. Em 1886, foi organizada a Empresa Paulista de Eletricidade, que se propunha a iluminar residências, lojas e setores de serviço. A necessidade de

investimentos exigiu da controladora Marques, Moutte e Cia a repassar a empresa para a Companhia de Água e Luz do Estado de São Paulo, que já tinha uma pequena termelétrica a vapor na cidade. Nesse período, a maior utilização de eletricidade se dava em indústrias com geradores próprios, uma vez que a iluminação esbarrava na concorrência do gás que ainda detinha a concessão da iluminação pública (SILVA, 2002, p. 34). A pressão sobre o *town gas*, já evidente nas principais cidades do mundo, só foi se tornar efetiva com a ação de uma multinacional, a Light.

O grupo canadense (de capital inglês) Light empenhou, desde o início, grandes esforços para que a eletricidade ocupasse o espaço do *town gas*. A pressão maior começou, entretanto, só depois da renovação da concessão. Em 1899, foi autorizada a funcionar no País a São Paulo Tramway, Light and Power Company Ltd., empresa que deu início à atuação do grupo Light no Brasil. A investida já representava não apenas a chegada da eletricidade inicialmente para mover bondes, mas também o status que alcançara a futura metrópole na virada para o século XX, já que os esforços da companhia na cidade precediam os esforços na própria Capital Federal.

A articulação para viabilização da companhia envolveu grandes esforços. Em 1897, Francisco Gualco e Augusto de Souza obtiveram a licença de comercialização do serviço de viação elétrica em São Paulo, orientados pelo engenheiro Frederick Pearson, que reuniu investidores para constituir a The São Paulo Railway, Light and Power Company Limited (SILVA, 2002, p. 37). No mesmo ano, Gualco e Souza transferiram seus direitos para o grupo que passou a se chamar The São Paulo Railway, Tramway, Light and Power Company Limited.

A segunda empresa organizada pelo grupo Light no Brasil foi a Rio de Janeiro Tramway, Light and Power Company Ltd., constituída em junho de 1904. Assim como em São Paulo, o início das operações na capital da República foi precedido por um complexo trabalho de captação de recursos no mercado financeiro internacional, com o apoio da National Trust, do Bank of Commerce do Canadá, da Canadian Pacific Railway e da British Empire Trust Company, além de outros grandes investidores (CORRÊA, 2005, p.260).

Numa primeira etapa, o objetivo das companhias, independentes entre si, era implantar nessas grandes cidades os serviços de bondes elétricos e substituir a iluminação pública a gás por iluminação elétrica. A primeira linha de bonde que ligava a Alameda Barão de Limeira ao Largo São Bento foi inaugurada em 1900. A eletricidade era gerada por uma termelétrica

da Light na Rua São Caetano. Nesse momento, a companhia centrava esforços no transporte urbano, mas já iniciava suas investidas nas áreas da iluminação pública e privada. Em 1900, adquiriu amigavelmente o controle acionário da Companhia de Água e Luz do Estado. Entretanto, foi somente a partir da inauguração da Usina Hidrelétrica de Parnaíba, em 1901, que a companhia teve escala para estender as linhas de bondes, bem como, fornecer energia elétrica para as indústrias a preços competitivos e aumentar a sua fatia de iluminação privada e exercer pressão pela iluminação pública e, conseqüentemente, sobre a companhia de gás (SILVA, 2002, p. 38). O primeiro passo da Light foi obter o direito de iluminação pública em áreas ainda não servidas pelo gás, já que a área de concessão deste se limitava à região central da cidade. Além disso, conseguiu um contrato particular com os comerciantes da área central para oferecer a iluminação especial de fim de ano. Apostava-se assim no contraste de qualidade de iluminação para enfraquecer ainda mais o *town gas*.

Em 1905, a Light se instalou na então capital federal e adquiriu a Societè Anonyme Du Gaz, que fornecia o gás de iluminação na cidade do Rio de Janeiro. Com isso, o gás passava a ser direcionado para o uso doméstico. Esse era o modelo que a companhia visava repetir em São Paulo. A companhia de gás paulista resistiu, mas em 1912, se consolidava o poder da Light. Dois eventos mostravam a nova realidade energética brasileira. Em primeiro lugar foi criada uma *holding* com o nome The Brazilian Traction Light and Power Company para integrar as três empresas brasileiras. As empresas da *holding* eram a The Rio de Janeiro Light and Power Company, a The São Paulo Tramway, Light and Power Company Limited e a recém criada The São Paulo Electric Company. Neste mesmo ano, o grupo adquiriu o controle acionário da The São Paulo Gas Company, consolidando definitivamente o processo de substituição das fontes (SILVA, 2002, p. 44). Com essas aquisições, a Light consolidou a sua hegemonia entre as empresas de serviços urbanos e também da eletricidade no mercado de iluminação. Como no resto do mundo, o antigo gás de iluminação, teve o seu uso destinado à cocção e, eventualmente, no aquecimento.

4.8. O final da primeira fase da gaseificação

A eletricidade, mais adequada e eficiente para iluminação, uso residencial e industrial, apresentava também a vantagem do uso dos motores independentes do funcionamento

centralizado da geração de vapor. Por ser de rápido transporte, alcançava maiores distâncias facilitando a geração em pontos distantes, o que a gaseificação não possibilitava, já que, nesse caso, a unidade produtora precisava ser próxima do centro de consumo. Isso não ocorria com a eletricidade a partir da conjugação das correntes contínuas e alternadas. Com tais ganhos de escala e vantagens comparativas significativas, a eletricidade dava fim à era do *town gas*.

O processo de mudança de paradigma foi tão rápido quanto, setenta anos antes, tinha sido a expansão do *town gas*. Nos EUA, em 1885, três anos depois da primeira iluminação em Wall Street já haviam 250 mil lâmpadas em uso. Na Europa, Berlim ganhou o apelido de Elektropolis, dada a rapidez da profusão da energia elétrica (YERGIN, 1994 p. 67). Era definitivamente o fim de uma era. A tecnologia que representara o progresso das grandes metrópoles, a possibilidade de atividades noturnas e uma mudança no modo de vida que proporcionava até mesmo um grande avanço literário, conforme afirmou Periman (2009), acabara perdendo o seu sentido inicial, diante de uma eletricidade muito mais versátil e com vantagens econômicas e práticas para os centros urbanos.

A indústria do gás ainda sobreviveria até a disseminação do gás natural para a finalidade de cocção e aquecimento, porém perdeu a relevância que teve durante o século XIX. Landes (1994) divide a revolução industrial em duas fases: a primeira foi baseada no ferro, no carvão e na produção têxtil. Já a segunda foi baseada no aço, na eletricidade e nos produtos químicos. Na passagem do século XIX para o XX, a substituição da iluminação a carvão, para a iluminação elétrica nas grandes concentrações urbanas que, por sua vez, também caracterizou a revolução industrial era uma clara evidência dessas fases distintas.

Outro aspecto que diferenciou as duas fases distintas foi o início do aproveitamento energético da fonte de energia primária que caracterizará o século XX: o petróleo. Se o carvão proporcionou força motriz e iluminação para o século XIX, o petróleo será ainda mais eficiente para o século XX, fornecendo muito mais do que o carvão oferecia: produtos químicos, fertilizante, asfaltos e muitos outros produtos que mudaram significativamente o dia-a-dia da sociedade industrial ao longo do século XX. Nas lacunas de abastecimento dessa nova fonte primária versátil se desenvolveu a nova fase da gaseificação.

5. A SEGUNDA FASE DA GASEIFICAÇÃO: OCUPANDO LACUNAS DO PETRÓLEO NO SÉCULO XX

Nesse capítulo, serão apresentadas as iniciativas de gaseificação em um cenário de hegemonia do petróleo e seus derivados. Novas possibilidades de uso da tecnologia são criadas a partir da síntese de Fischer-Tropsch na década de 1920 (rota que em nenhum momento foi competitiva com o combustível hegemônico), tornando-se uma alternativa nos momentos de crise de abastecimento do petróleo.

Embora só na metade do século XX o consumo de petróleo tenha superado o de carvão, o petróleo tornou-se sinônimo de energia e riqueza durante todo o século. Segundo Pinto Júnior (2007, p. 60), “a partir da entrada do petróleo na cena mundial, a energia deixou de ser um tema estritamente econômico: tornou-se geradora e arena de conflitos políticos entre importadores e exportadores e entre firmas de petróleo e governos”. A sua alta densidade energética, a sua facilidade logística e o desenvolvimento de produtos a partir da cadeia petroquímica foram determinantes para que a economia do petróleo se consolidasse e ditasse o novo modelo de vida do século XX. A hegemonia do petróleo coincide com a americana. A própria origem da indústria do petróleo tem origem americana em Titusville, à beira do rio Oil, onde o “coronel” Edwin L. Drake escavou o primeiro poço de petróleo (YERGIN, 1994).

O petróleo, no entanto, é conhecido desde a antiguidade. Na Babilônia, era conhecido como *naphtha*. Durante séculos, diferentes misturas que continham petróleo eram usadas em estradas, impermeabilizantes para barcos e tetos, argamassa e medicamentos (PERIMAN, 2009). Em meados do século XIX, o americano George Bissel teve o primeiro contato com o petróleo como medicamento, porém percebeu o potencial do produto como iluminante e articulou a primeira perfuração em escala comercial, inaugurando a indústria do petróleo. Para verificar a viabilidade dessa percepção, Bissel contou com colaboradores. O professor Silliman, da Universidade de Yale afirmou que era possível obter um iluminante de alta qualidade com as técnicas já existentes de refinação do petróleo. Não era possível, entretanto, ter escala com as coletas artesanais dos vazamentos de “óleo de pedra” já conhecidos. Era, portanto, necessária outra técnica e a primeira exploração usando as técnicas de perfuração de poços de sal foi realizada por Drake em Titusville, no ano de 1859 (YERGIN, 1994, p. 12). O

sucesso da operação, bem como a primeira corrida pelo petróleo que sucedeu à descoberta, mostrou o potencial econômico da função iluminante do petróleo, mas nem de longe se vislumbrava a importância que viria a ter no século seguinte.

5.1. A ascensão do petróleo para a sua hegemonia energética

A demanda por iluminação no século XIX era um aspecto essencial. Em função disso o *town gas*, mesmo com tantos impactos ambientais nas cidades se espalhou pelas grandes metrópoles. Mas não foi apenas a indústria do gás que se desenvolveu para atender essa demanda. Outra indústria, a do petróleo, também se articulou para atender as demandas de iluminação nos segmentos distantes dos centros urbanos. Isso porque, em função dos seus custos e estruturas, a gaseificação do carvão só era economicamente viável com a escala que proporcionavam as grandes concentrações urbanas. As áreas rurais e as cidades menos ricas tinham uma demanda impossível de ser atendida pelo *town gas*, abrindo uma oportunidade para o querosene “iluminante”. O produto derivado de petróleo só foi possível com o desenvolvimento das técnicas de refino e, principalmente, com utilização da tecnologia de perfuração para produção de petróleo em larga escala.

Se a iniciativa de George Bissel inaugurou indústria do petróleo, a consolidação da mesma só foi possível com a articulação de John Rockefeller. Segundo Pinto Júnior (2007), Rockefeller “solucionou racionalmente os desafios de armazenar, transportar e transformar o petróleo e vender os seus derivados” de forma integrada, fundando o “maior dos monopólios americanos na virada do século”. Portanto, a indústria americana do Petróleo, simbolizada pela Standard Oil comandada por Rockefeller, no século XIX, atendeu basicamente a demanda da iluminação em áreas não servidas pelo *town gas*.

Mas na passagem do século XIX para o XX, a eletricidade já apresentava melhores resultados em iluminação. Com maior a escala mostrava-se cada vez mais competitivas com relação às outras fontes de iluminação e, a despeito do progresso no refino do petróleo e dos investimentos maciços em oleodutos e logística de distribuição, o uso do querosene iluminante perdeu espaço, limitando-se a áreas rurais não alcançadas pelas redes de distribuição elétrica.

Entretanto, data dessa mesma época, o advento da chamada “carruagem sem cavalo” que, embora vista com muita desconfiança no início, logo alcançou o status que traria consigo durante todo o século XX. Em 1900 houve o licenciamento de oito mil automóveis nos Estados Unidos. Em 1912 esse número já era de 905 mil. Com o automóvel e o motor a combustão, não só encontrava-se um novo mercado para o petróleo, mas também se encontrava destino para a gasolina, que antes era tida como uma fração menos nobre da destilação do petróleo. Como ilustração desse fato, em 1892, um negociante de petróleo se vangloriou por ter conseguido vender um galão de gasolina por centavos de dólar (YERGIN, 1994, p. 68).

Com o novo mercado, a produção de petróleo que, durante a sua fase voltada para o querosene era basicamente um fenômeno americano, passou a causar interesse mundial. Antes mesmo do advento dos automóveis, os europeus se articulavam para viabilizar tanto o petróleo russo como o de Sumatra para não só comercializá-los na Europa, mas também com o extremo oriente. Ao mesmo tempo, novas formas de utilização do petróleo estavam se desenvolvendo.

Algumas das novas jazidas de petróleo que foram sendo descobertas, como no Texas e em Bornéu, eram de petróleo pesado e, portanto, menos propício para a obtenção de querosene de iluminação e mais adequado para uso como combustível gerador de força. Marcus Samuel, o mentor e primeiro líder da Shell foi o principal defensor de usar o óleo para movimentar embarcações. O petróleo texano começou a substituir o carvão em indústrias e ferrovias. Em 1901, havia apenas uma locomotiva movida a óleo, mas quatro anos depois já havia 227 (YERGIN, 1994, p. 76). O governo russo, autossuficiente em petróleo, mas dependente do carvão inglês, também incentivou a troca de combustível a partir da década de 1890. E mesmo na Inglaterra, com grandes reservas de carvão, utilizava-se o óleo em ferrovias, principalmente em áreas urbanas ou situações específicas como o transporte da família real, para reduzir as emissões de fumaça das locomotivas.

Segundo Yergin (1994), a troca de combustível da armada inglesa em 1911, não só apontou definitivamente as vantagens do uso do petróleo para os transportes, como se mostrou decisiva para que os aliados viessem a ganhar a Primeira Grande Guerra. A densidade energética, que possibilitava maior potência e velocidade, a facilidade de logística e armazenamento, conferia maior autonomia, evitando também toda a estrutura necessária para a queima de carvão.

Com o mercado assegurado pelo setor de transportes em um século que se caracterizava pela a mobilidade baseado em petróleo e novos campos descobertos no Oriente Médio, a indústria se articulou. A matéria-prima também viabilizou novas descobertas e novos produtos a partir da substância fóssil. Em pouco tempo, todas as economias necessitavam de um fluxo seguro de petróleo, aspecto que não se alterou durante todo o século XX - e até mesmo no início do século XXI. Em determinados momentos, entretanto, a escassez – ou mesmo o medo da escassez – motivavam iniciativas para buscar combustíveis com as mesmas propriedades do petróleo. Nesses momentos que a gaseificação teve o interesse renovado no século em que o petróleo monopolizava os interesses.

5.2. A busca da conversão de combustíveis sólidos para substituir o petróleo

Longe do setor de iluminação urbana, o gás sintético de carvão teve que se limitar à cocção e aquecimento no início do século XX, concorrendo ainda com o gás liquefeito de petróleo, já que o óleo substituíra progressivamente o carvão como fonte primária no mundo todo. Foram, entretanto, os esforços para substituir esse petróleo que deram novas possibilidades para a gaseificação, especialmente em momentos de crise de abastecimento deste combustível, como ocorreu, por exemplo, na Segunda Guerra Mundial quando se buscou um substituto até mesmo para movimentar motores automotivos. Neste sentido, um grande esforço foi no sentido de substituir de forma integral, na busca de combustíveis com as mesmas propriedades do combustível líquido. Isso se mostrou viável com a descoberta da Síntese de Fischer-Tropsch, que possibilitava utilizar os componentes do gás de síntese (o monóxido de carbono e o hidrogênio) para combiná-los em cadeias, gerando produtos característicos da cadeia petroquímica.

Os químicos Franz Fischer e Hans Tropsch trabalhavam no Instituto Kaiser Wilhelm para Pesquisa em Carvão, na cidade de Mülheim, Alemanha. O Instituto foi criado em 1913, mas os resultados marcantes só começaram a surgir na década de 1920. O objetivo da pesquisa dos químicos era empregar gás de carvão para produzir moléculas de

hidrocarbonetos, a partir das quais combustíveis e produtos químicos poderiam ser sintetizados (COLLINGS, 2002).

Nas suas formas mais simples, esses objetivos haviam sido alcançados. Em 1869 no laboratório de Berthelot, um óleo contendo compostos aromáticos e naftenos foi obtido a partir de carvão hidrogenado. A reação era feita em ácido hidriódico a 540°F (282°C) em um período de 24h (MILLER, 2005, p.269). Em 1902, Paul Sabatier, usando níquel e cobalto como catalisadores reagiu monóxido de carbono e hidrogênio formando metano, que é a molécula mais simples de hidrocarboneto (COLLINGS, 2002). Já em 1911, Friedrich Bergius obteve óleo do carvão aplicando uma pressão de 570 atm a uma temperatura de 660°F (349°C). A patente do processo chamado hidrogenação do carvão foi registrada em 1913. A descoberta assegurou ao cientista o prêmio Nobel de 1931 (MILLER, 2005, p.269). O objetivo de Fischer e Tropsch era conseguir o mesmo efeito, mas com o emprego de menor temperatura e pressão. Para tanto, utilizaram o gás do carvão ao invés de carvão dissolvido em óleo reciclado, mantendo o gás em contato com o catalisador por um tempo maior (COLLINGS, 2002). O processo de Fischer e Tropsch foi patenteado em 1925. Em 1926, os autores publicaram a Síntese de Gasolina que utilizava ferro e cobalto como catalisadores (SCHULZ, 1999).

O processo de Fischer-Tropsch tipicamente inclui três passos: limpeza do gás de síntese após a gaseificação; síntese usando catalisadores como ferro, níquel, rutênio, zinco, cromo, cobalto, cobre e molibdênio – cada catalisador separa determinado líquido e é sensível a determinados contaminantes; e processamento desses líquidos (WERZ et al., 2010, p.317 e SCHULZ, 1999).

Ambos os sistemas: o de Fischer e Tropsch e o de Bergius foram utilizados até a Segunda Guerra Mundial (COLLINGS, 2002). Segundo Yergin (2009 p.368), o método de Bergius foi privilegiado na Alemanha nazista em função da atuação da companhia I.G. Farben, detentora da patente adquirida de Bergius, que conseguiu alcançar a adesão de Hitler à causa dos combustíveis sintéticos em uma Alemanha sem reservas de petróleo. O esforço germânico na produção do *Leunabenzin*, como era conhecido o combustível sintético (em função da grande planta de hidrogenação da I.G. Farben na cidade de Leuben), foi intenso. De 1940 a 1943, a produção desse combustível praticamente dobrou, passando de 72 mil litros diários para 124 mil (Yergin, 2009 p. 385). Só diminuiu com a perspectiva da tomada dos campos petrolíferos russos pelas tropas alemãs. Segundo Yergin (2009, p. 374): “Hitler expôs

seus próprios cálculos grotescos de que o número de baixas em uma guerra com a Rússia não seria maior que o número de trabalhadores destinados à indústria de combustíveis sintéticos”. Com a reação russa, o esforço no combustível sintético intensificou-se, afinal, em 1944, o processo de síntese era responsável pelo abastecimento de 92% da gasolina de aviação (Yergin, 2009 p. 385).

O bombardeio pelos aliados contra as plantas de combustível sintético foi essencial para o destino da guerra, uma vez que mesmo tendo aumentado a sua atividade econômica e a produção de armamentos, em 1944, a Alemanha tinha que distribuir as suas plantas em locais menores e mais escondidos. Mesmo assim os bombardeios continuaram até imobilizar por completo as Forças Armadas alemãs, que no início da guerra se caracterizavam pela mobilidade. Até o final da guerra foram construídas 12 plantas de hidrogenação (método Bergius) e nove outras que usavam a rota Fischer-Tropsch (COLLINGS, 2002). Se as forças armadas puderam contar com os combustíveis sintéticos, outra forma de conversão de combustíveis sólidos em substituição aos derivados de petróleo foi largamente utilizada pela população civil nesse período de escassez: a gaseificação pura através dos equipamentos chamados gasogênios que convertiam sólidos carbonados em gás combustível.

5.3. O gasogênio

A Segunda Guerra Mundial interrompeu diversas rotas comerciais, o que trouxe consigo uma crise de abastecimento de petróleo para grande parte dos países que não eram autossuficientes. A essa altura, o uso dos motores de ciclo Otto (gasolina) e ciclo Diesel (óleo diesel) já estavam consolidados para assegurar a mobilidade humana (RAJVANSHI, 1986). A Alemanha e outros países que não possuíam jazidas de petróleo buscaram alternativas tecnológicas para assegurar a mobilidade necessária.

O gasogênio que consiste em um equipamento de gaseificação agregado aos veículos foi uma alternativa. Vários modelos de gasogênios, que convertiam os materiais sólidos em gás combustível para os motores, surgiram neste período. Eles eram geralmente externos e ficavam na traseira do veículo, mas em veículos da Volkswagen (“fuscas”) na Alemanha no período da Segunda Grande Guerra chegou a ser embutido no porta-malas dianteiro.

Embora a movimentação de automóveis por meio da gaseificação esteja principalmente associada a esse período específico da guerra, a primeira tentativa usando o gasogênio é anterior. O primeiro registro é creditado a J. W. Parker que percorreu mais de mil milhas em um veículo a gasogênio entre 1901 e 1905. O registro de patente na forma inadequada da sua máquina gaseificadora permitiu que nos 15 anos seguintes fossem desenvolvidas muitas pesquisas por concorrentes. Nesse período, entretanto, o uso da gasolina se consolidou. Durante a Primeira Guerra, com a possibilidade de crise de abastecimento da gasolina na Inglaterra, Porter e Smith avançaram no desenvolvimento de automóveis com gaseificação. A disseminação dessas máquinas foi prejudicada pelo sistema de taxaço de carros na Grã Bretanha que cobrava por peso – que, neste caso, incluía os gaseificadores (KAUPP; GOSS, 1981, p. 11).

Na França, os carros movidos à gasogênio ganharam força depois da Primeira Guerra, especialmente depois de *rallies* promovidos pelo Automóvel Clube da França, realizados a partir de 1926. Por trás das iniciativas encontrava-se Georges Imbert, que patenteou um gaseificador *downdraft* em 1923 e muitos modelos que inspiraram por muito tempo os automóveis à gasogênio (KAUPP; GOSS, 1981, p. 11). Nos anos 1930, o entusiasmo com os veículos movidos pelo gasogênio arrefeceu na França e a companhia de Imbert migrou para a Alemanha.

Nessa época, os governos francês e britânico apostavam na gaseificação apenas para as suas colônias distantes do fluxo comercial do petróleo e que também contavam com grande estoque de madeira. A despeito da posição desses governos, os anos 1930 caracterizaram-se pelo desenvolvimento da tecnologia. Novos conceitos e modelos de produtores de gás *downdraft* e *crossdraft* foram desenvolvidos ou melhorados. Além disso, esforços foram empreendidos para tornar mais leves os gaseificadores e melhorar o sistema de limpeza de gases, que eram as partes vulneráveis da tecnologia (KAUPP; GOSS, 1981, p. 12).

Data do período entre 1931 a 1934 a experiência australiana com tratores. Os baixos preços do trigo e a falta de querosene forçaram os agricultores a buscar uma alternativa de combustível para seus tratores. Converteram, portanto, de forma descoordenada, os seus motores para gasogênio. No entanto, a cadeia de fornecedores do equipamento não se consolidou, causando problemas crônicos de assistência técnica. Tal fato acabou por criar uma enorme resistência com relação aos gaseificadores nos anos seguintes. Os consumidores

que souberam operar sem assistência técnica, mantiveram os seus equipamentos por muitos anos (KAUPP; GOSS, 1981, p. 12).

No fim dos anos 1930, a Alemanha Nazista se esforçou em converter veículos visando garantir tanto a segurança nacional e a independência do óleo importado, mas também a aceleração da mecanização da agricultura. Essa foi a razão também de a União Soviética converter os seus tratores, uma vez que as áreas agriculturáveis eram distantes das regiões petrolíferas e dos oleodutos soviéticos. Quase todos os primeiros tratores russos foram convertidos para gasogênio, inspirados nos modelos de gaseificação alemães (KAUPP; GOSS, 1981, p. 12). Mas a corrida envolvia quase todos os países no pré-guerra. Em 1938, a maioria dos países europeus estimulou o uso de gaseificadores em veículos através de subsídios para a conversão, taxas favoráveis ou mesmo editais, como na França que exigiam que todas as empresas de transportes públicos de converter pelo menos 10% de seus veículos para gasogênio. O governo italiano foi ainda mais rigoroso, exigindo que todos os ônibus no serviço público convertessem seus motores para uso de carvão vegetal, álcool ou gasolina e óleo produzidos nas residências. Estas medidas fizeram com que os números de veículos movidos a gasogênio chegassem a 4500 na França, 2200 na Alemanha e mais de 2000 em Itália no início de 1939 (KAUPP; GOSS, 1981, p. 14).

O número de publicações e a quantidade de comitês e documentos técnicos neste período na Alemanha mostram que o país se preparava substancialmente para os desafios logísticos da nova realidade. Mas foi na Suécia, em que a crise de abastecimento de petróleo se deu de forma mais intensa, que a implantação da tecnologia também ocorreu de forma mais acentuada. Na Suécia, o corte de 11 milhões de barris em 1939, para 800 mil em 1942, causou uma migração de aproximadamente 90% dos veículos e 100% dos tratores em apenas um ano e meio (KAUPP; GOSS, 1981, p. 16).

A quantidade de veículos a gasogênio dependia da intensidade da crise de abastecimento. Apesar da grande quantidade de migrações, a tecnologia encontrava desafios tais como: o conforto dos motoristas, que reclamavam maiores salários em função do trabalho excedente; a limpeza diária dos gaseificadores; a necessidade de capacitação para lidar com o equipamento; fornecedores de equipamento nem sempre confiáveis; falta de garantia devido à dificuldade de conhecer a procedência do equipamento e qualidade dos combustíveis (KAUPP; GOSS, 1981, p. 16).

No decorrer do tempo, os fornecedores foram reduzidos a aproximadamente dez empresas confiáveis no mundo todo, mas o problema dos combustíveis persistiu. Na Alemanha o combustível (e seus atributos, como tamanho, formato e mistura) para gasogênios era controlado por um órgão público, a Sociedade para a Produção de Lenha e Utilização de Resíduos de Madeira, e podia ser comprado em milhares de postos autorizados em todo o país. Percebeu-se, entretanto, que se mantida a tendência de utilização do carvão vegetal, não haveria mais florestas europeias. A partir de julho de 1941, o uso de carvão vegetal foi proibido na França e Dinamarca e restrito na Alemanha e Suécia (KAUPP; GOSS, 1981, p. 17). A nova política incentivava o uso de lignita, turfa, antracito e coque a partir de carvão betuminoso. Diversos problemas vieram à tona como os altos teores de enxofre das emissões, bem como desconhecimento dos consumidores sobre os tipos de combustível e seu impacto no desempenho do automóvel.

5.4. O gasogênio no Brasil

Segundo Nicolau Sevcenko (apud CYTRYNOWICZ, 2002), já nos anos 1920, em São Paulo, o automobilismo era um culto e o automóvel um símbolo social. Em seu livro “Automóveis de São Paulo – Memória Fotográfica de Pessoas, Automóveis e Localidades do Estado de São Paulo”, Malcolm Forest (apud GARBIN; GERODETTI, 2012) relata que em 1917 havia na cidade 1.757 automóveis e no interior paulista, 816. Em 1929, já eram 69.515 automóveis em território paulista, sendo 18.226 na Capital. Em função disso, o planejamento oficial da cidade teve que se adequar à nova realidade. Na década de 1930, a cidade era um canteiro de obras voltado para o alargamento das vias e adaptação à realidade dos automóveis (COSTA, 2009). As inúmeras obras, entretanto, já não eram suficientes. Na edição de 22/02/1940 o Correio Paulistano (apud CYTRYNOWICZ, 2002) anunciava “as ruas da capital, como ninguém mais ignora, já se tornaram pequenas demais para o número de veículos a motor que possuímos”. A cidade de São Paulo já se destacava pelo trânsito e assim como o estado, o Brasil se preparava ter nos veículos automotores o seu meio de locomoção principal. Em 1928, foi inaugurada a estrada Rio-São Paulo, ligando os principais polos comerciais brasileiros. No mesmo ano foi entregue a primeira estrada totalmente pavimentada que ligava a capital a cidade do Rio de Janeiro à Petrópolis.

Com o advento da Segunda Guerra Mundial, já havia um considerável consumo de gasolina e diesel no país. A falta de abastecimento desses combustíveis levou o governo a incentivar uma tecnologia que já era utilizada de forma incipiente desde os anos 1910 em tratores e caminhões que transitavam distantes da rede de distribuição de combustíveis. O gasogênio representou uma solução que poderia substituir a gasolina que naquela época era importada. Por meio dos gaseificadores, os automóveis podiam ser alimentados com carvão vegetal, que, gaseificado, gerava um gás para os motores de combustão interna.

Para fomentar o uso dessa tecnologia e diminuir o impacto da escassez de gasolina, em fevereiro de 1939, o decreto-lei 1.125 criou a Comissão Nacional do Gasogênio. O decreto também instituiu cursos sobre o gasogênio e determinava que, a partir de 1940, para cada conjunto de 10 veículos pertencentes a um mesmo proprietário, um teria de ser a gasogênio (CYTRYNOWICZ, 2002, p. 73). O governo do Estado, preocupado com a sua frota circulante - já significativa - também criou, no ano seguinte, a Comissão Estadual de Gasogênio e, em 1942, os seus primeiros cursos. O resultado é que, em 1943 havia 7352 veículos à gasogênio na capital e 3512 no interior. Em apenas dois anos, foram fabricados de 15 a 20 mil aparelhos gaseificadores. Em 1944, um filme produzido pela Comissão Estadual, chamado Nosso Amigo, o Gasogênio, mostra-o, como símbolo “milagroso”, amigo de “todas as classes”, um (gás) “pobre que fará o Brasil rico”.

Para superar problemas técnicos e de comodidade, como a rapidez de abastecimento e da partida, o Governo convocou um grupo de especialistas para formar a Comissão de Energia Térmica que seria encarregada de estudar novos processos e sistemas. Além disso, montou laboratórios e oficinas para que o grupo pudesse encontrar as soluções técnicas e reduzir o custo dos equipamentos.

Além do apoio governamental, a recente indústria do gasogênio também trabalhou para consolidar a imagem de modernidade ao equipamento. “Agrada sempre porque oferece segurança, força, economia e comodidade. Paulistano é lindo por fora e maravilhoso por dentro”, dizia um casal que anunciava o “Gasogênio Paulistano”. Já outro fornecedor, as “Oficinas Cometas” ressaltava a elegância, a durabilidade, o porta-mala livre, a não deformação do carro e a garantia (CYTRYNOWICZ, 2002, p.62).

O esforço em conferir modernidade ao equipamento incluiu uma corrida no Autódromo de Interlagos (inaugurado em 1940), o I Grande Prêmio São Paulo de

Automobilismo, realizado em 1944, com todos os carros movidos à gasogênio e vencido pelo piloto Chico Landi, o primeiro ídolo do automobilismo brasileiro.

Os aparelhos chamavam a atenção pela falta de estética. Eram instalados no fim do carro como “um apêndice grotesco”, segundo definiu Décio Pignatari (apud CYTRYNOWICZ, 2002) em suas memórias. Em virtude do seu aspecto físico, o gasogênio acabou por ser uma das mais recorrentes lembranças dos paulistas referentes à época da guerra, segundo depoimentos para o livro “Guerra sem guerra” de Roney Cytrynowicz (2002) sobre o impacto da guerra em São Paulo:

“... ao lado da recordação das filas e da falta de pão, a memória dos carros a gasogênio é tema central na memória paulistana em relação à Segunda Guerra Mundial. Mesmo pessoas que nunca possuíram um automóvel lembram-se do gasogênio e falam com a intimidade de quem possuía um automóvel particular. (CYTRYNOWICZ, 2002, p.69)”

Além da estética e da comodidade, outros problemas estavam à frente do gasogênio. Um teste realizado em 1942, na Avenida Rebouças, mostrou que o gás de carvão reduziria em 50% a potência do automóvel (Ibid. p.73). A própria perspectiva de volta da gasolina e regularização do abastecimento, ainda que no longo prazo, não incentivava a migração de toda a frota. Além disso, com a disseminação do equipamento, a própria matéria-prima usada para a formação do gasogênio, o carvão vegetal, começou a faltar. Em 1944, o coordenador de Mobilização Econômica, Anápio Gomes, ao tomar posse, colocou que: “É realmente um absurdo que estejamos destruindo as nossas minguadas reservas florestais para que ricos e ociosos se deem ao luxo de passeios e excursões” (CYTRYNOWICZ, 2002, p.70). Jornais como o Correio Paulistano faziam coro a essas críticas denunciando viagens como a de alguns abastados para o Rio de Janeiro para ver o Grande Prêmio Brasil de turfe.

Mas o aumento da crise de abastecimento, que atingiu o auge em outubro de 1944, fez com que os governos redobrassem os esforços. No dia 5 de outubro de 1944, O Correio Paulistano informava que 50% da frota estadual de caminhões seriam convertidos. No dia 13 do mesmo mês o governo sorteou um subsídio para conversão de 350 veículos para gasogênio. No dia 26, o interventor federal decretou que todos os veículos de repartições e órgãos autárquicos estaduais e municipais fossem adaptados para o uso do gasogênio.

Os esforços combinados, desde o início desta curta crise de abastecimento de petróleo, criaram toda uma cadeia produtiva voltada para a adaptação dos veículos ao gasogênio. Em 1943, havia 307 fábricas em todo o estado. Até o início de 1945, quase 6 mil pessoas foram

capacitadas a trabalhar com a tecnologia. Tal desempenho teve impacto nos números positivos da indústria durante a guerra, mas a volta do abastecimento normal da gasolina faria com que os veículos movidos a gasogênio caíssem em desuso.

5.5. A gaseificação no pós-guerra

Com o fim da Segunda Guerra e a volta do abastecimento de petróleo, as iniciativas de gaseificação foram relagadas ao segundo plano em função da regularização do abastecimento de gasolina, diesel e a evolução do gás natural. Além das vantagens de desempenho, os preços dos combustíveis derivados de petróleo reduziram acentuadamente no período pós-guerra. Até mesmo a pesquisa na área de gaseificação estagnou. Entre 1950 e 1970, houve uma redução expressiva inclusive de pesquisas sobre o tema. A única pesquisa de fundo foi patrocinada pelo governo sueco, entre 1957 e 1963 e trouxe contribuições para a melhoria dos processos de limpeza do gás e da conversão dos motores a diesel (KAUPP; GOSS, 1981, p. 18).

A Suécia manteve o seu foco em gaseificação em função da sua grande quantidade de matéria-prima florestal. Rajvanshi (1986) reitera que neste país os trabalhos foram acelerados especialmente depois da crise do Canal de Suez em 1956. Na oportunidade, a decisão foi incluir a gaseificação nos planos estratégicos de emergência no país. Pesquisas para melhorias nos designs dos gaseificadores especialmente para uso em transporte foram realizadas principalmente pelo Instituto Nacional de Teste para Máquinas de Agricultura.

Países em condições específicas como a África do Sul também prosseguiram seus estudos, principalmente contando com as aplicações viabilizadas pela síntese de Fischer-Tropsch para montar toda uma cadeia petroquímica. Segundo Werz et al (2010, p. 316) o desenvolvimento da síntese de Fischer e Tropsch na década de 1920 viabilizou o abastecimento da África do Sul nos períodos de isolamento durante o regime do *apartheid*.

Fundada em 1950, a Sasol (Suid- Africaans Steenkools na Olie), que viria a se tornar uma referência mundial em tecnologia da gaseificação, desenvolveu toda a sua cadeia química e petroquímica baseada no carvão mineral. Através da gaseificação daquele insumo foram obtidas a gasolina, óleo diesel e querosene de aviação. A utilização da síntese de Fischer-

Tropsch permitiu o desenvolvimento da cadeia petroquímica. Com a sua tecnologia, a Sasol tem colaborado com projetos em todo o mundo, que utilizam não só o carvão para gerar líquidos, mas também o gás natural.

Segundo Sparks (2012), a relevância da Sasol na África do Sul está intimamente ligada à consolidação do próprio conceito de nação. Segundo o autor, o orgulho do domínio tecnológico que já em 1955, produzia em sua primeira planta, combustíveis para veículos automotores, estava na base do sentimento nacionalista característico das formações nacionais na Idade Moderna.

Mas os recursos possibilitados pelo avanço tecnológico da combinação gaseificação e síntese de Fischer-Tropsch só iria ganhar corpo internacionalmente 20 anos depois. As crises do petróleo na década de 1970 e o cenário de medo da redução das reservas de petróleo, bem como os boicotes dos maiores produtores de petróleo fizeram com que as pesquisas em gaseificação voltassem à tona no restante do mundo (SCHULZ, 1999, p.4). Programas de Energia nos Estados Unidos, Japão e Europa reforçaram o desenvolvimento de processos Fischer-Tropsch a partir do carvão.

Segundo Kirkels e Verbong (2011), verifica-se que nos últimos 40 anos, na pesquisa em gaseificação, tanto na sua parte acadêmica (demonstrada por publicações), quanto na parte corporativa (demonstrada por depósitos de patentes), as abordagens têm duas fases bastante distintas: a primeira a partir dos anos 1970, liderada principalmente pelos Estados Unidos, como resposta às duas crises do petróleo. Nessa fase, as pesquisas se voltam basicamente à gaseificação do carvão. Depois de uma queda de interesse, em função da queda do preço no petróleo nos anos 1980, o interesse foi retomado, no final da década de 1990, devido à crescente preocupação dos países com relação às mudanças climáticas. Nesta segunda fase, o interesse ocorreu inicialmente na Europa e, já nos meados dos 2000, com os preços do petróleo novamente em alta, China e Japão passaram a ser importantes atores no desenvolvimento dessa tecnologia.

A capacidade produtiva refletiu os ciclos de interesse acadêmicos: cresceu fortemente até 1985 e depois estagnou no mesmo patamar com a baixa do petróleo, retornando o crescimento a partir de 1993 (KIRKELS; VERBONG, 2011). O último ciclo de crescimento, segundo o relatório do Departamento de Energia dos Estados Unidos (2007) realmente coincide com a ascensão econômica da China e tem sido mais forte nos anos recentes, alcançando uma taxa de 32% de 1999 até 2007.

Não só a gaseificação a partir do carvão se beneficiou do interesse renovado na síntese de Fischer-Tropsch. A própria cadeia de gás natural, impulsionada pelo o descobrimento de novas jazidas, ganhou capacidade de gerar produtos da cadeia petroquímica por meio da síntese, desta vez sem a necessidade de gaseificar o carvão. A maior planta do mundo de combustíveis sintéticos, a Pearl GTL, que se localiza no Qatar, utiliza diretamente o processo Fischer-Tropsch para gerar 140 mil barris ao dia de combustíveis líquidos a partir do Gás Natural. Comparativamente a planta Oryx GTL da Sasol com a Chevron, situado na mesma cidade Ras Laffan, Catar, tem uma produção de 34 mil barris diários (RAMOS et al., 2011).

Apesar do crescimento recente da combinação gaseificação de carvão (CTL) e conversão de gás natural em hidrocarbonetos líquidos (GTL), para atender a economia chinesa, a grande perspectiva de crescimento do uso da tecnologia da gaseificação vem da matéria-prima em que a tecnologia é menos consolidada: a biomassa. A razão para essa nova busca é uma variável que vem se consolidando menos rapidamente do que esperado – mas de forma definitiva - na perspectiva dos tomadores de decisão de empresas e governos: a questão das mudanças climáticas.

5.6. Lições aprendidas da segunda fase da gaseificação

Segundo Costa e Prates (2005), existe, nas fases históricas, uma energia de referência (dominante) que orienta as trajetórias do setor energético. Ela tem reflexos significativos na economia como um todo. Qualquer perturbação no mercado da energia dominante impacta os mercados de forma geral, inclusive, de outros energéticos. À primeira vista, isso poderia ser traduzido pelos economistas como um elevado grau de substituição entre energéticos. No entanto, se o peso relativo da energia dominante é muito grande, essa capacidade de substituição pode ser difícil, como visto nas experiências descritas acima.

O desenvolvimento tecnológico e as consequentes mudanças estruturais da economia fazem com que as energias dominantes passem por ciclos. Antes da Revolução Industrial, a biomassa, notadamente a lenha e o carvão vegetal, eram praticamente os únicos recursos energéticos utilizados pela humanidade. O carvão mineral, que foi determinante na primeira

fase da revolução industrial, até mesmo para a iluminação das cidades foi sendo substituído a partir do final do século XIX. O petróleo tornou-se, portanto, a energia dominante no século XX, exercendo uma função central no desenvolvimento e na modernização das economias (COSTA; PRATES 2005).

Segundo Costa e Prates (2005), na segunda metade do século passado sinais de esgotamento desse ciclo já eram percebidos, especialmente com o advento da energia nuclear que se mostrava uma alternativa eficiente não só para fins militares, mas também para fins energéticos. Aspectos relacionados ao desenvolvimento tecnológico, à transferência de tecnologia, à larga escala de produção e ao risco de acidentes, entretanto, inviabilizaram a idéia de ter a energia nuclear como a alternativa energética mundial.

A partir da década de 1970, as crises de petróleo aumentaram a percepção de que o cenário era de oferta limitada para um aumento de consumo acelerado. Os valores alcançados pelo barril de petróleo eram, para alguns a evidência disso e motivaram uma corrida para a substituição dessas fontes.

A primeira crise do petróleo, em 1973, veio de uma combinação entre o aumento do valor de mercado do petróleo (motivado entre outras coisas pela percepção de que era um recurso finito) com uma repreensão política (à crise do Oriente Médio com a guerra árabe-israelense). A manutenção dos preços em patamares altos, entretanto, é, segundo Pimentel (2006) derivada da percepção dos países produtores de petróleo, representada pela Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), do potencial econômico deste controle dos preços.

A revolução iraniana que motivou a segunda crise do petróleo poderia ter o seu efeito diminuído se o outro grande país produtor, a Arábia Saudita, aumentasse a sua produção para controlar os preços. Isso não ocorreu, justamente, porque este país era o grande defensor da produção controlada. A combinação de recessão e as políticas de substituição do petróleo reduziram o consumo e começaram a pressionar e desarticular os países produtores. Somente a Arábia Saudita controlava a produção para manter os preços.

Em 1985, a Arábia Saudita exportou algo próximo de zero, já que para manter os preços era preciso compensar a grande produção dos outros membros da OPEP e de países não membros (PIMENTEL, 2006). O país não suportou a pressão e logo deixou o controle de produção partindo para a competição desenfreada que iria causar o que se chamou de

Contra-Choque do petróleo, em 1986. A situação de volta aos preços baixos, aliada às novas descobertas de reservas descobertas nos tempos de escassez, causou grande impacto na percepção da finitude do recurso energético dominante e, principalmente, o encerramento das políticas de substituição de petróleo. Deste modo, o Contra-Choque do petróleo atingiu, em cheio, às políticas de desenvolvimento de alternativas energéticas para substituir o petróleo. Desde as ainda em um estágio incipiente, como por exemplo, a gaseificação de biomassa, até as já bem estabelecidas, como o brasileiro Proálcool.

O petróleo, em virtude de suas vantagens, que contemplam desde a sua densidade energética, passando pela facilidade logística, capacidade de armazenagem e facilidade de transporte, se mostrou perfeitamente adequado ao desenvolvimento acelerado por que passou o mundo no século XX.

As vantagens do recurso energético ajudaram a criar as condições para um aumento populacional e um aumento da qualidade de vida, que naturalmente incorrem em um aumento geral do consumo. Dada a importância do petróleo para a própria vida moderna, o aumento da demanda por esse combustível finito proporcionou um questionamento sobre a capacidade de abastecimento infinita desse recurso energético. Já na passagem para o século XXI, a essa preocupação, juntou-se à questão das mudanças climáticas.

Porém, as dificuldades técnicas e econômicas de se encontrar um combustível e uma matéria-prima tão apropriada para o modo de vida criado ao longo do século não permitiram que, em um curto espaço de tempo, a energia de referência fosse mudada. Uma perspectiva de longo prazo (e políticas adequadas a este longo prazo), entretanto, poderia impulsionar uma alteração da fonte energética de referência.

6. A GASEIFICAÇÃO NO CONTEXTO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Segundo Kaupp e Goss (1981, p. 20), ao longo da história, a gaseificação e seus produtos não se mostraram tão convenientes quanto o refino de petróleo e seus derivados. Entretanto, sempre que há uma crise de abastecimento de petróleo e necessidade substituição desses combustíveis, como no caso da Segunda Guerra, a tecnologia volta a chamar a atenção. Os espaços de tempo, entretanto, são bastante curtos para desenvolver e aperfeiçoar sistemas capazes de superar todas as dificuldades que a tecnologia tem para fazer frente às vantagens dos combustíveis líquidos fósseis (KAUPP; GOSS, 1981, p. 12).

A perspectiva, entretanto, de exaustão do recurso finito sempre levantou a necessidade de novas fontes de energia. Tal perspectiva foi ilustrada pela teoria desenvolvida por Marion King Hubbert que, observando o comportamento das reservas de petróleo, estabeleceu um modelo para representar o comportamento das reservas que foi chamado de curva de Hubbert. Este modelo projetado em um gráfico tem um formato de sino em que a reserva cresce até certo ponto, mas em determinado momento chega a um pico (o pico de Hubbert) e depois a começa a decrescer. A teoria ganhou ainda mais força quando as projeções de Hubbert, feitas em 1956 de que o pico da produção americana aconteceria em 1970 foram confirmadas. Sob essa perspectiva e sob a pressão dos preços altos que pareciam confirmar o começo da escassez, diversas iniciativas de substituição do petróleo foram surgindo ao redor do mundo.

Além dessas iniciativas, novas jazidas foram procuradas e encontradas adiando a percepção de iminente decréscimo da produção de petróleo. A redução da demanda do petróleo e a concorrência de novos produtores de petróleo acabaram por desarticular o movimento da OPEP de controle dos preços causando o chamado Contra-Choque do petróleo, em 1985, que acabou por desestimular a manutenção de políticas de substituição de petróleo. Com isso os combustíveis fósseis, especialmente os convenientes e eficientes derivados de petróleo voltaram a se colocar como de difícil substituição.

A situação começou a mudar novamente, não mais em função do pico de Hubbert, ou do preço do petróleo mas em função de uma nova variável: as mudanças climáticas. A institucionalização do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) da ONU, em 1988 e principalmente a Convenção Quadro de Mudanças Climáticas - originada em 1992 e implantada em 1994 – colocaram a questão do efeito estufa antropogênico, como um grande

risco para as gerações futuras. As instituições supramencionadas já alertavam que o carbono armazenado em outras eras geológicas nos combustíveis fósseis vem sendo rapidamente emitido para atmosfera, causando o chamado efeito estufa antropogênico. Tal efeito não permite que a energia contida nos raios infravermelhos escape inteiramente da atmosfera, aquecendo-a. O quarto relatório do IPCC divulgado em 2007, entre outros alertas, divulgou que as mudanças climáticas já estavam em curso, com algumas evidências - como o aumento dos eventos climáticos extremos - já verificáveis. A emergência da questão e o esforço mundial para conter as emissões de carbono tendem, portanto, a se consolidar como a principal forma de restrição aos combustíveis fósseis, antes mesmo do natural decréscimo dos seus estoques. Esse cenário, não só de curto, mas, de longo prazo, pode oferecer boas perspectivas para as tecnologias voltadas para a substituição do petróleo entre as quais a da gaseificação.

6.1. A crise ambiental das mudanças climáticas

A despeito de cientistas isolados questionarem as mudanças climáticas de origem antropogênica (alguns reforçando a influência dos raios solares, outros questionando os impactos negativos do aumento do carbono na atmosfera e outros atribuindo a teoria a interesses econômicos), a influência de gases mais complexos do que as moléculas de nitrogênio e oxigênio (que compõem 99% da atmosfera) no fluxo de energia terrestre já vem sendo estudada há muito tempo. Em 1824, Joseph Fourier defendeu que atmosfera terrestre atuaria retendo o calor e aumentando a temperatura do planeta – o que é hoje chamado de efeito estufa. Em 1836, outro físico francês Claude Pouillet apoiou as ideias de Fourier e afirmou que a camada atmosférica absorveria mais radiação refletida da superfície da Terra do que aquela que chega ao planeta nos raios solares. À época, ainda não havia uma compreensão do que substância na atmosfera seria responsável por essa absorção (IPCC, 2007, p. 103).

Em 1859, o físico irlandês John Tyndall identificou por meio de experimentos de laboratório a absorção da radiação térmica de moléculas complexas como as do gás carbônico (CO₂), do metano (CH₄) e da água (H₂O). Em 1895, Svante Arrhenius elaborou a primeira

previsão de alteração do clima com base em gases de efeito estufa – ele propôs que, se a quantidade de gás carbônico aumentasse na atmosfera, a temperatura da Terra elevaria, intensificando o efeito estufa. (IPCC, 2007, p. 105).

A primeira quantificação dos efeitos dos gases de efeito estufa na atmosfera terrestre foi realizada por Guy S. Callendar, em 1938: segundo seus cálculos, a duplicação da concentração atmosférica de CO₂ resultaria em um aumento de 2°C na temperatura média global. Já na década de 1950 do século passado, os estudos já avançavam na interdisciplinaridade e Revelle e Suess explicaram a dificuldade de absorção de CO₂ para o oceano profundo (IPCC, 2007, p. 105).

Na década de 1970, além do CO₂ e do vapor de água, foram estudados outros gases, sendo reconhecidos como gases-estufa, o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e os clorofluorcarbonetos (CFCs). Já aerossóis de sulfato, apesar do impacto na saúde humana e na formação das chuvas ácidas, foram, segundo Charlson (1990 apud IPCC, 2007, p. 106), considerados gases que resfriam a superfície da Terra, já que eles refletem diretamente a luz solar.

Deste modo, o reconhecimento dos impactos dos gases de efeito estufa na temperatura terrestre vem se acumulando ao longo do tempo e não é uma novidade no mundo científico. Não são novos, também os estudos de geomorfologia e paleontologia sobre efeitos de mudanças abruptas no clima, bem como os dos efeitos albedos, pelo qual a superfície branca dos polos reflete em maior intensidade a radiação do que a superfície escura dos oceanos, agravando assim às preocupações climáticas (IPCC, 2007, p. 106).

A reunião dessa crescente preocupação refletiu-se na Organização Internacional de Meteorologia. Tal organização foi fundada em 1873, mas tornou-se uma agência especializada das Nações Unidas, em 1950. Em conjunto com o Programa para o Meio Ambiente da própria ONU (UNEP) e com apoio da própria assembleia geral da instituição, a agência criou em 1988, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), que conseguiu alertar, ao longo desses anos, sobre os riscos e efeitos da contínua emissão do carbono armazenado no subsolo terrestre.

A atuação do IPCC teve destaque em 1997, quando se firmou o primeiro esquema prático internacional visando a redução das emissões (o Protocolo de Quioto) e dez anos

depois, em 2007, com a publicação do 4º Relatório que confirmou que as mudanças climáticas já estavam em curso. Por esta publicação, a instituição recebeu o Prêmio Nobel. Durante esses anos, as iniciativas, ainda que sem uma coordenação abrangente, para reduzir emissões vêm se avolumando ao redor do mundo em empresas e governos.

Entre as iniciativas coordenadas, a principal foi a da Europa. Em março de 2007, os líderes europeus endossaram uma política integrada de energia e clima que previa as chamadas metas 20-20-20 que estabeleciam para 2020: redução nas emissões de gases de efeito estufa de pelo menos 20% abaixo dos níveis de 1990; redução de 20% de consumo de energia primária; e um total de 20% da energia consumida oriunda de fontes renováveis. Em janeiro de 2008 a Comissão Europeia propôs uma legislação vinculante para a implementação das metas. O pacote legal foi aprovado em dezembro de 2008 pelo Parlamento Europeu e virou lei em junho de 2009 (EC, 2011). As metas de redução de emissão já foram praticamente alcançadas, o que tem propiciado iniciativas para aumentar ainda mais o corte de emissões (OR, 2012).

Os outros países também buscam formas de redução das emissões ou de redução da intensidade de carbono, o que significa que, ainda que as emissões continuem a crescer, o crescimento terá menor proporção do que o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB). Esse é o caso principalmente dos países ainda considerados em desenvolvimento como a China, que mesmo sendo a segunda maior economia do mundo (e maior emissor mundial), ainda tem um PIB per capita muito baixo em função da sua grande população. O país propôs como meta para si mesmo uma redução de 40% a 45% na sua intensidade energética até 2020. Para alcançar esse objetivo, o plano Quinquenal Chinês foi mais específico sendo proposta uma meta intermediária de redução de 16% da intensidade de carbono para 2015, com redução de 16% dos combustíveis fósseis e inserção de 17% de energias renováveis na matriz para o mesmo ano (ABREU, 2011).

Nas negociações para um acordo de emissões coordenado e vinculante (obrigatório para os países signatários), a maior economia do mundo e segundo maior emissor, os Estados Unidos, exigem condições similares como as da China para participar. Internamente, entretanto, o país já se articula para migrar para uma economia de baixo carbono. Apesar da resistência dos parlamentares republicanos que conseguiram barrar no Senado a Lei de Energia Limpa e Segurança, também chamada American Clean Energy and Security Act – ACES, o país trabalha para reduzir a dependência do petróleo, em grande parte produzido em

regiões instáveis e conflituosas (HULSE; HERSZENHORN, 2010). A revolução do gás de folhelho (*shale gas*), pela qual passa o país, facilita a aceitação do país às metas de redução, uma vez que o gás emite entre 50 a 70% menos que o carvão, reduzindo as emissões totais do país.

Todo esse novo ambiente propicia uma nova perspectiva para a tecnologia da gaseificação, especialmente da biomassa, uma vez que o carbono emitido da biomassa não consiste no carbono do subsolo - armazenado em outras eras geológicas - como o dos combustíveis fósseis, e sim o carbono da própria atmosfera absorvido pela planta. Esse novo ciclo de desenvolvimento e aperfeiçoamento da tecnologia de gaseificação tem uma grande vantagem frente aos passados. Desta vez, a crise de abastecimento não é momentânea como anteriormente. Ao contrário, ainda que os preços do petróleo venham a baixar novamente, o aumento do seu consumo intensificará a crise climática, reforçando ainda mais a necessidade da busca por alternativas aos combustíveis fósseis. Nesse contexto, a antiga rota tecnológica da gaseificação tem uma perspectiva de futuro para ser aperfeiçoada e consolidada.

6.2. Usos modernos da biomassa

Cerca de vinte anos separaram a crise do petróleo da percepção generalizada das mudanças climáticas. Por isso alguns programas de sucesso puderam ser retomados, especialmente no que diz respeito ao uso moderno da biomassa. Um exemplo que pode ser retomado em bases diferentes, mas a partir de uma estrutura consolidada, é o caso do etanol brasileiro.

O Programa Brasileiro do Álcool – Proalcool, lançado na década de 1970 para reduzir a vulnerabilidade do Brasil com relação ao petróleo importado, em dez anos, conseguiu converter a maioria dos carros novos em veículos a etanol. No início da década de 1990, depois de uma crise de abastecimento do etanol, que coincidiu com os baixos preços do petróleo, os carros à álcool deixaram de ter compradores e o etanol deixou de abastecer a frota brasileira. Tal fato que só foi revertido na primeira década do século XXI, quando os fabricantes de automóveis, já atentos à questão climática, criaram a tecnologia de motores *flex fuel* movidos tanto por gasolina quanto por etanol.

Segundo Cerqueira Leite et al. (2009), a frota de veículos leves em 1973 era abastecida por gasolina, sendo que 80% do petróleo destinado a abastecê-los era de origem importada. Para substituir o uso dos derivados de petróleo e, ao mesmo tempo, estabilizar o mercado de açúcar, o governo criou o Proálcool. Na primeira fase do Programa, de 1975 a 1979, o governo brasileiro estabeleceu uma mistura obrigatória de 25% de etanol anidro à gasolina (E25). Nesse período a produção de etanol cresceu de 220 milhões de litros em 1975 para 2,8 bilhões de litros em 1979.

Depois da segunda crise do petróleo, em 1979, o Proálcool também entrou em uma segunda fase, e surgiram os automóveis inteiramente movidos a álcool hidratado, com um índice de pureza de no mínimo 92,7%. A segunda fase do programa também foi bem sucedida, sendo que os automóveis dedicados a álcool representaram em 1985 96% das vendas de carros novos. A crise de abastecimento de etanol em 1989 e a queda dos preços do petróleo nos anos 80 abalaram a confiança no carro dedicado a álcool. Mesmo assim, a demanda de álcool subiu ao longo dos anos 1990 em função da mistura obrigatória que permaneceu em vigor. O surgimento dos motores *flex fuel* já no início do século XXI deu novo impulso ao biocombustível.

Ao longo do tempo, o setor sucroalcooleiro brasileiro também avançou no aproveitamento energético do bagaço de cana. Usado no processo de fabricação de açúcar e álcool no aquecimento das caldeiras desde épocas remotas, o bagaço foi ganhando importância com o surgimento de caldeiras de pressões mais altas que possibilitavam, além do calor de processo, a geração de energia elétrica - inicialmente para o seu próprio uso e, posteriormente para exportar para a rede. Em 2010, a biomassa foi responsável por 4,7% da matriz elétrica brasileira (EPE, 2011), sendo a cogeração no setor sucroalcooleiro responsável pela maior parte dessa geração. Em 2006, o setor sucroalcooleiro representava 70% da geração termelétrica por biomassa. O licor negro (resíduos do processo de produção de papel e celulose) foi responsável por 22,6% e os resíduos de madeira por 5,9% da produção termelétrica a partir da biomassa, no mesmo ano (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007, p. 102).

Embora o Brasil seja o grande exemplo de aproveitamento energético da cana, outros países conseguem suprir grande parte da sua demanda energética com a matéria-prima, como, por exemplo, as Ilhas Maurício que, já em 2002, atendeu 40% da demanda nacional de

eletricidade a partir da cogeração de energia utilizando resíduos de cana-de-açúcar (VERAGOO, 2003, apud MME, 2007).

A questão climática levou outros atores, em especial países desenvolvidos com alta dependência dos combustíveis fósseis, a investir na biomassa, em especial nos biocombustíveis. O uso da biomassa e dos biocombustíveis tem um balanço de carbono quase neutro e apresenta uma vantagem substancial frente a outras renováveis: o uso da biomassa não sofre do problema da intermitência, uma vez que pode ser armazenada e transportada tanto na sua forma bruta como combustível (THORNLEY 2006 apud PITEROU et al. 2008).

As primeiras rotas de síntese de biocombustíveis como a dos Estados Unidos (maior produtor mundial de etanol, produzido a partir do milho) e da Europa (produzindo biodiesel), entretanto, não apresentaram a mesma eficiência da experiência brasileira conforme Moreira et al. (2008). Comparativamente com o etanol de milho, o etanol da cana de açúcar é muito mais eficiente. Para cada unidade de energia fóssil consumida na produção de etanol de cana, são produzidas de 8 a 10 unidades de energia renovável contra aproximadamente uma unidade do etanol de milho.

Nesse contexto, o crescimento da demanda por etanol quadruplicou entre 2000 e 2008 (SIMS et al. 2010) e levou consequentemente a um aumento significativo na sua produção para alcançar a demanda. Tal necessidade de biocombustíveis colocou em questão a concorrência por terras com a produção de alimentos (NAIK et al., 2010; CHAKRABORTTY apud SIMS et al., 2010). A alta geral dos preços em 2007 ressaltou essa impressão. A questão gerou estudos para verificar a capacidade de os biocombustíveis substituírem os combustíveis fósseis, em especial o petróleo. Cerqueira Leite et al. (2009), por exemplo, avaliaram a possibilidade de o Brasil abastecer de álcool o equivalente a 5% da gasolina atualmente usada no mundo. O estudo mostra que a gasolina consumida no mundo em 2005 era estimada em 1,2 trilhões de litros e cresceria 46% até 2025, alcançando 1,7 trilhões de litros. Para alcançar os 5% da demanda mundial, o Brasil precisaria produzir 102 bilhões de litros em 2025. Considerando o rendimento atual de 71 ton/ha e de 85l/ton da produção sucroalcooleira seriam necessários 17 milhões de hectares para alcançar a meta. Ou seja, 10 milhões a mais (atualmente a área dedicada à cultura sucroalcooleira é de sete milhões). Segundo o estudo, uma pequena intensificação da produção da agropecuária das atuais uma cabeça por hectare para 1,3-1,5 por hectare, liberaria 70 milhões de hectares atualmente dedicados à pastagem

para a produção de cana de açúcar, significando que não faltaria terra para o Brasil abastecer 5% na forma de etanol a demanda mundial por petróleo.

Alguns países, em especial a Europa, mostraram disposição ainda maior para aumentar o consumo de fontes de biomassa em detrimento dos combustíveis fósseis. A Comissão Européia, além das já mencionadas metas 20-20-20 (que propõem 20% de renováveis, 20% a menos de consumo energético via medidas de eficiência e 20% menos de emissão de gases efeito estufa), estabeleceu a substituição de 10% dos seus combustíveis para transporte por biocombustíveis (RENEW PROJECT, 2009). O aumento da demanda exigiria um aumento tanto da produtividade por hectare, mas também do próprio aproveitamento energético da biomassa.

Nesse sentido, estabeleceu-se uma corrida tecnológica para alcançar formas mais eficientes de obter energia da biomassa que acabou por mobilizar os principais atores do setor. Para resolver a questão do balanço energético dos biocombustíveis (exceção feita ao álcool da cana), a questão da competição com a produção de alimentos e também a questão de custos tem motivado o interesse no desenvolvimento de biocombustíveis de segunda geração que basicamente são produzidos a partir de biomassa não usada para alimento (SIMS et al., 2010).

Sims et al. (2010) consideram entre as matérias-primas para a geração dos biocombustíveis de segunda geração subprodutos como bagaço de cana de açúcar, resíduos de florestas, palha de cereais; resíduos como componentes orgânicos de resíduos sólidos urbanos e também matérias-primas dedicadas como gramíneas especiais e florestas de alta-rotatividade, que embora possam vir a competir com a produção de alimentos pela terra, poderiam ter rendimentos energéticos bem superiores às matérias-primas alimentares atualmente utilizadas.

É nesse contexto, de procura por um uso mais eficiente do poder calorífico da biomassa, que se tem um novo ciclo de interesse pela tecnologia da gaseificação. Segundo Belgiorno et al. (2003), a demanda mundial por fontes renováveis é um fator-chave para o resgate da gaseificação. Ela não só tem sido aplicada com sucesso na produção de energia a partir da biomassa, mas também tem se mostrado uma alternativa para o tratamento térmico com recuperação energética de resíduos sólidos urbanos, embora neste caso existam grandes desafios para superar a heterogeneidade do material.

Diversos atores e países têm empenhado significativos esforços para alcançar a conversão dos materiais orgânicos não alimentares em combustíveis e químicos que possam substituir o petróleo. As principais rotas são a bioquímica (que utiliza enzimas para decompor a celulose e a hemicelulose) e a rota térmica, na qual se inclui a gaseificação. Entre os tratamentos térmicos para viabilizar essa conversão se destacam a própria gaseificação e a pirólise, onde o processo ocorre sem a presença do oxigênio (BRIDGWATER, 2003). Enquanto a gaseificação se caracteriza por um controle do meio gaseificante (oxidação parcial), a pirólise baseia-se na decomposição anaeróbica em elevadas temperaturas para produzir produtos sólidos, líquidos ou gasosos. Existe a possibilidade da combinação dessas tecnologias, utilizando-se, por exemplo, a pirólise como pré-tratamento para a gaseificação (DINJIUS, 2012). Há ainda a possibilidade de integrar o tratamento térmico com o bioquímico, como indica a rota escolhida pela americana INEOS que converte resíduos sólidos urbanos e restos florestais e de jardim em combustíveis por meio de uma gaseificação inicial. Porém para a conversão do gás de síntese em etanol, ao invés da síntese de Fischer-Tropsch, utiliza bactérias para gerar etanol (INTERNATIONAL ENERGY AGENCYBIOENERGY TASK33 D, 2011).

6.3. A competição internacional por novas tecnologias em combustíveis a partir da biomassa

A busca pelos combustíveis que possam ao mesmo tempo substituir de modo eficiente o fóssil petróleo evitando impactar na produção de alimentos tem mobilizado atores tanto privados como públicos ao redor do mundo. Investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento vêm ocorrendo de forma acentuada. Em 2007, O Programa de Biomassa do Departamento de Energia Americano assegurou U\$ 385 milhões de dólares para seis plantas de larga escala, mais U\$ 200 milhões para plantas de demonstração e mais U\$ 375 milhões para centros de pesquisa especializados. O Canadá criou um fundo de U\$ 500 milhões para investir em plantas produtoras tanto de etanol como de biodiesel a partir da celulose. Em 2006, o Japão alocou U\$ 130 milhões em Pesquisa e Desenvolvimento na área e a Europa se destaca ainda mais na busca para alcançar a viabilidade econômica dos combustíveis de segunda geração com empresas como a dinamarquesa Novozymes (SIMS et al. 2010).

As empresas de petróleo também participam, aliadas a centros de pesquisa, nas iniciativas de pesquisas de combustíveis a partir de fontes residuais. Entre as iniciativas pode-se enumerar vários casos envolvendo muitas das principais empresas de petróleo. A Chevron investiu US\$ 40 milhões nos centros da Universidade da Califórnia, Davis and Georgia Tech. A BP, além de investir US\$ 500 milhões ao longo de 10 anos em Berkeley na Universidade da Califórnia e no Laboratório Nacional de Lawrence na Universidade de Illinois, estabeleceu uma divisão própria na companhia voltada para a área. A ConocoPhillips investiu US\$ 22.5 milhões ao longo de 8 anos na Universidade Estadual de Iowa. A Exxon investiu em US\$ 600 milhões num projeto de Genoma Sintético para produção de óleo através de algas e a Shell tem investido na sua empresa de biocombustíveis, a Iogen (SIMS et. al. 2010).

Tais esforços nos processos tecnológicos criam a expectativa de que a comercialização de biocombustíveis de segunda geração está cada vez mais próxima. As rotas tecnológicas básicas, atualmente, são duas: a) bioquímica, na qual enzimas e outros microorganismos são usados para converter a celulose e a hemicelulose contidas nas matérias-primas em açúcar, que, depois de fermentado, torna-se etanol; b) a termoquímica, onde, através da gaseificação da biomassa, gera-se o gás de síntese, que depois, por meio da conversão Fischer e Tropsch, são geradas diversas cadeias carbônicas, como o diesel, etanol, querosene de aviação, entre outras. Esta última forma (a gaseificação com Fischer-Tropsch) é também conhecida como Biomass-to-Liquids e pela sigla BTL (SIMS et al., 2010).

Há outras formas químicas de conversão da matéria-prima não alimentar em biocombustíveis como a dimetil-eter, metanol e metano sintético, mas as principais são as rotas bioquímicas e térmicas. As duas ainda enfrentam uma série de desafios para alcançar o objetivo de se tornarem comercialmente viáveis. A rota bioquímica precisa reduzir os custos por meio de um aperfeiçoamento do processo de pré-tratamento, precisa aumentar a eficácia das enzimas, baixar os custos de produção e aumentar a integração dos processos. Já a rota térmica, embora tenha um *know-how* consolidado, principalmente a partir dos conhecimentos herdados das rotas Coal-to-Liquids (CTL) e Gas-to-Liquids (GTL), segundo o estudo de Sims et al. (2010) tem menos oportunidades de redução de custos.

Atualmente, ambos os processos podem potencialmente converter uma tonelada de biomassa seca (~20GJ/t ou 4,8 milhões de kcal/t) em 6,5GJ/t (ou 1,6 milhões de kcal/t), com uma eficiência de aproximadamente 35% (MABEE et al. 2006 apud SIMS et al., 2010). Embora as duas rotas tenham esse potencial, diferentes rendimentos ocorrem na prática, de

acordo com a o processo e com a matéria-prima. Segundo Sims et al. (2010), uma tonelada de matéria processada por enzimas pode render de 110 a 300 litros de etanol, enquanto uma tonelada de biomassa pode gerar de 75 a 200 litros de diesel sintético ou 120 a 160 litros de etanol. Ainda que em seus resultados máximos, a rota térmica gere menor volume de combustíveis é dela o maior nível de eficiência, uma vez que 200 litros de diesel têm valor energético maior do que 300 litros de etanol. Outra vantagem é que a rota térmica pode gerar combustíveis mais apropriados para aviões ou navios e outros produtos atualmente oriundos da cadeia petroquímica.

Aumentar os rendimentos, reduzir custos econômicos e energéticos, ou mesmo agregar valor aos seus produtos são fatores essenciais para a viabilidade econômico-financeira capaz de consolidar as rotas tecnológicas de combustíveis de segunda geração.

6.4. Perspectivas de longo prazo para a substituição do petróleo

A constatação da crise climática colocou um enorme desafio para a humanidade que usa intensivamente combustíveis fósseis tanto para geração de energia como para produzir materiais essenciais para o seu modo de vida atual. O último relatório *Perspectivas de Tecnologias Energéticas* (EPT) da Agência Internacional de Energia (IEA, 2010) voltado para prover informações práticas e ferramentas para tomadores de decisão do setor energético, mostra sintonia com as advertências do Painel Intergovernamental IPCC que afirma a necessidade de que, até 2050, as emissões globais de CO₂ deverão ser reduzidas de pelo menos 50% em relação aos níveis de 2000, para se conseguir limitar o aumento global da temperatura a longo prazo entre 2,0°C e 2,4°C (IEA, 2010).

Uma tarefa extremamente difícil, já que a presença dos combustíveis fósseis é bastante significativa, representando mais de 80% da matriz energética mundial como mostra a Tabela 6.1, adaptada do relatório da Agência Internacional de Energia, *World Energy Outlook 2009 – 2030* (IEA, 2009).

Tabela 6.1 - Demanda mundial de energia por combustível em cenário de referência (Mtoe)

	1980	%	2000	%	2007	%	2015	%	2030	%	2007-2030
Carvão	1793	24,80	2292	22,88	3184	26,50	3828	R\$ 28,36	4887	29,11	1,90%
Petróleo	3107	42,98	3655	36,48	4093	34,07	4234	R\$ 31,37	5009	29,84	0,90%
Gás	1234	17,07	2085	20,81	2512	20,91	2801	R\$ 20,75	3561	21,21	1,50%
Nuclear	186	2,57	676	6,75	709	5,90	819	R\$ 6,07	956	5,69	1,30%
Hidreletricidade	148	2,05	225	2,25	265	2,21	317	R\$ 2,35	402	2,39	1,80%
Biomassa e Resíduos	749	10,36	1031	10,29	1176	9,79	1338	R\$ 9,91	1604	9,55	1,40%
Outras Renováveis	12	0,17	55	0,55	74	0,62	160	R\$ 1,19	370	2,20	7,30%
	7229	100	10019	100	12013	100	13497	100	16789	100	
Fósseis		84,85		80,17		81,49		80,48		80,15	

Fonte: *INTERNATIONAL ENERGY AGENCY 2009*

Em 1980, só o petróleo, representava quase metade (42,9%) da matriz energética mundial e os combustíveis fósseis como um todo, 84,85%. Houve uma ligeira diminuição dessa participação para cerca de 80%, situação, que consideradas as políticas atuais não se alterará até 2030, conforme projeção do cenário de referência (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY 2009*) na mesma tabela.

O cenário tendencial, embora tenda para um crescimento maior das renováveis, aponta para um crescimento ainda muito grande das fontes fósseis. Isso deve-se a alguns fatores. Com relação ao crescimento do carvão, existe uma clara associação, ao crescimento econômico dos países asiáticos, especialmente China e Índia. A China usa atualmente mais carvão que os EUA, Europa e Japão juntos. Seu consumo dobrou entre 2000 e 2006, e passou a responder pelo uso de mais de 38% do carvão empregado no mundo. Só em 2006 a China construiu 100 gigawatts de centrais térmicas a carvão - média de 2 GW por semana (FRANÇA 2009).

Além disso, países com vastas reservas de carvão, evitam abdicar do recurso energético, apresentando soluções que mitigariam o impacto ambiental do carvão, considerado o pior dos combustíveis fósseis em termos de emissões tanto de poluentes locais como de impacto global como o dióxido de carbono. O uso de captura e armazenagem de carbono Carbon Capture and Storage (CCS), é sempre lembrado como uma possibilidade de “limpar” as emissões do carvão. Outra possibilidade é o uso da própria gaseificação. Segundo Breault (2010), a gaseificação, quando comparada com a combustão, é mais eficiente, apresenta baixa emissão de gases do efeito estufa e material particulado, além de ter custo de

capital competitivo. Ambas as alternativas, entretanto, elevam custos e aumentam os riscos, não sendo prioridade, portanto, no uso de carvão por partes de países emergentes.

O crescimento do uso do gás natural dá um sentido oposto ao do carvão. Afinal é o gás *in natura*, em função da sua menor taxa de emissões, que na visão de alguns pode viabilizar redução da intensidade de carbono em um primeiro momento. Ou seja, pode viabilizar uma economia em que para cada unidade monetária circulando, corresponda menos quantidade de carbono emitido – a chamada economia de baixo carbono. A própria indústria de petróleo, aposta em um crescimento do gás natural maior do que o do óleo em função das pressões ambientais. No documento *The Outlook for Energy - A View to 2030*, a companhia petrolífera Exxon Mobil (2010), prevê um crescimento da utilização do gás natural no montante de 60% de 2005 para 2030, crescendo 2% ao ano e alcançando 25% da matriz energética mundial em função da necessidade de redução de emissões de carbono e inovações tecnológicas como o Gás Natural Liquefeito (GNL).

O próprio documento *Perspectivas de Tecnologias Energéticas (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY 2010)* do IEA, que indica alternativas energéticas para 2050, trabalha com dois cenários, um de referência e outro que propõe a redução das emissões necessárias. Este último se baseia essencialmente na troca de combustíveis (essencialmente para gás natural) e na eficiência energética. O cenário de referência é baseado no *World Energy Outlook 2009 – 2030*, projetando-se a continuidade para a tendência até 2050. Tal cenário assume uma premissa de que os governos não tomariam medidas políticas, em matéria de energia, voltadas para o clima. O outro cenário, que prevê reduções de emissão, é chamado de Quadro Blue. Este cenário assume a premissa de que os governos e empresas fariam o necessário para diminuir pela metade as emissões de CO₂ ligadas à energia até 2050 (comparadas com os níveis de 2005) e examina as formas menos onerosas de atingir essa meta através da implementação de tecnologias de baixo carbono existentes, salientando também a segurança energética (reduzindo a dependência em relação aos combustíveis fósseis) e outros benefícios que contribuem para o desenvolvimento econômico (por exemplo, a melhoria da saúde graças à redução da poluição do ar). O gráfico da figura 1 apresenta o peso das principais estratégias tecnológicas propostas para transformar o cenário de referência no Quadro Blue. A troca de combustíveis refere-se basicamente a troca de carvão e petróleo para gás natural.

Figura 6.1 - Tecnologias chave para reduzir as emissões de CO₂ em função do cenário Quadro Blue (IEA, 2010)

De acordo com o gráfico, nessa análise, o papel dos resíduos como vetor de decréscimo de emissões é bastante limitado, embora relevante. A fatia da biomassa e dos resíduos na indústria crescerá de 6% em 2007 para 14% em 2050, porém, o relatório considera que o abastecimento de matéria-prima possa ser um limitador dessa fonte energética.

Há, entretanto, análises que consideram o uso da biomassa, em especial dos resíduos como essencial para alcançar os objetivos ambientais do planeta. Em 2010, um relatório assinado pela World Wild Foundation - WWF e pela empresa Ecofys, considera a possibilidade de uma matriz energética inteiramente renovável para 2050 e defende intensamente o papel do aproveitamento energético da biomassa e dos resíduos, como se pode observar na Figura 2.

Figura 6.2 - Cenário Ecofys/WWF (WWF; ECOFYS 2011)

Segundo este cenário, resíduos e outras fonte de biomassa como algas, sementes e outros seriam responsáveis por quase 30% da energia consumida mundialmente em 2050. Tal cenário avalia que caso não fosse feito nada, a demanda energética mundial estaria em 520 EJ/ano, porém apenas com um esforço de eficiência energética, que prevê uma otimização do uso final, e um processo de intensificação da eletricidade na matriz energética, essa demanda poderia cair pela metade. A outra metade seria suprida por renováveis, considerando-se apenas as tecnologias existentes em 2010 e sem mudanças expressivas no modo de vida alcançado no mesmo ano.

Para alcançar o cenário, o relatório sugere uma de intensificação da eletricidade na matriz energética, viabilizando uma maior utilização das fontes solar e eólica, restando à biomassa viagens de longa distância e processos industriais que requerem altas temperaturas. O destaque da biomassa tem o aspecto curioso de não se levar em conta o tratamento térmico com a síntese de Fischer-Tropsch, uma vez que se considerou que as rotas bioquímicas e de biodigestão estão mais avançadas.

7. GASEIFICAÇÃO EM BIOMASSA: TECNOLOGIAS ATUAIS, PERSPECTIVAS FUTURAS E DESAFIOS PARA A APLICAÇÃO ATUAL

Segundo Breault (2010) é a tecnologia de conversão de qualquer material que contenha carbono em gás de síntese (CO e H_2) e outros subprodutos. Esses subprodutos são removidos na limpeza do gás que, por sua vez, podem ser usados como combustível para gerar eletricidade ou vapor, ou mesmo como base para um grande número de produtos de refinaria ou indústria petroquímica.

Para Veras (2013), uma vez que é necessária a utilização de energia para a gaseificação, a principal justificativa para o processo é o fato de o gás combustível ser mais facilmente empregado que o combustível sólido original. Ou seja, investindo-se 28% do poder calorífico do carbono puro na conversão do sólido em gás CO (monóxido de carbono) 87% do poder calorífico é conservado para posterior utilização. Adicionado aos outros compostos químicos (hidrogênio – H_2), o autor considera que a porcentagem de energia intrínseca que é recuperada no gás, a partir do insumo básico, está “entre 77 e 88% nas plantas de gaseificação mais modernas”.

Reimert e Schaub (1989) classificam os processos de gaseificação de sólidos carbonados por meio dos seguintes aspectos: 1) o método de contato do sólido com os gases reagentes que podem ser: leito móvel/fixo, leito fluidizado e fluxo de arraste; 2) o tipo de matéria-prima sólida: que podem ser carvão, biomassa, e outros como resíduos de petróleo; 3) tamanho da partícula do sólido que pode ser: fino, médio ou grosso; 4) meio em que se dá a gaseificação: ar, oxigênio, vapor, vapor/ar, vapor/oxigênio; 5) suprimento de calor para as reações de gaseificação, que podem ser: reações de cátions, aquecimento interno (que se divide em autotérmico, cíclico, carregador fluido ou sólido de calor); ou aquecimento externo (que se divide em transferência de calor por paredes de reação), trocador de calor (alotérmico); 6) pressão que pode ser atmosférica ou alta; 7) condição do resíduo da gaseificação que pode ser escória ou cinzas; 8) aplicação do gás produzido que pode ser combustível, para planta de ciclo-combinado, para gás de síntese, para substituição do gás natural, para fonte de hidrogênio, ou para redução do ferro; e 9) estágio de desenvolvimento.

Segundo os mesmos autores, as rotas tecnológicas se adaptam umas às outras conforme estes critérios. Gaseificadores de leito móvel, por exemplo, podem aceitar maiores teores de umidade, porque a matéria-prima é seca no gaseificador pelo gás. Gaseificadores de fluxo de arraste requerem misturas reduzidas por pré-secamento para manter o fluxo livre durante o esmagamento. Leitos fluidizados podem suportar altos índices de mistura, mas perdem em eficiência. Outras caracterizações como a quantidade de cinzas, a volatilidade, o carbono fixo, a possibilidade de empedrar (*caking behavior*), a reatividade e a distribuição de tamanho das partículas são igualmente importantes para decidir a tecnologia a ser utilizada para gaseificar o combustível.

O conhecimento dos gaseificadores, aprofundados para a melhor utilização do carvão em países como a África do Sul e, mais recentemente Índia e China, com grandes jazidas do mineral e sem recursos petrolíferos, começa a ser aplicado na gaseificação da biomassa. Além do balanço de carbono, melhor do que a combustão, a razão para a sua utilização é a possibilidade de síntese de produtos químicos e combustíveis líquidos que possam aproveitar a infraestrutura petrolífera. Segundo Klass (p. 272, 1998), alguns processos de gaseificação são adequados para a biomassa e gasificadores que foram originalmente criados para gaseificar carvão, são efetivamente comercializados para a biomassa.

7.1. Rotas tecnológicas atuais

Miller (2005, p. 250) define como principais, os seguintes tipos de gaseificadores: leito fixo, leito fluidizado e leito de fluxo de arraste.

No gaseificador de **leito fixo** o carvão é colocado no sentido contrário do meio gaseificante (ar, vapor ou oxigênio). O carvão desce (às vezes é chamado de leito móvel) lentamente contra o fluxo do gaseificante. As zonas de reação se dividem de cima para baixo em: a) zona de secagem e retirada dos voláteis; b) redução e gaseificação; c) combustão; e d) zona de cinzas. Na primeira, o carvão é seco pelo calor, na segunda ocorre a reação de gaseificação, na terceira o carvão remanescente reage com o oxigênio (temperaturas mais altas); e na quarta as cinzas (se o vapor estiver abaixo dos pontos de fusão) ou a escória (se estiver acima, são retirados. As principais características deste tipo de gaseificador, segundo

Miller, (2005) são: baixos requisitos para os oxidantes, modificações no projeto para aglutinação de carvão; alta eficiência térmica quando o poder calorífico dos hidrocarbonetos líquidos estão incluídos; e habilidade limitada para lidar com finos.

No gaseificador de **leito fluidizado**, o carvão que entra pela lateral é mantido suspenso pelo meio gaseificante (que entra próximo do carvão, mas de forma ascendente). Deste modo, a mistura e o aquecimento são feitos de forma mais rápida resultando em uma temperatura mais uniforme no leito. A temperatura é mantida abaixo do ponto de fusão das cinzas para evitar a formação de clínquer. Algumas partículas são arrastadas para fora do gaseificador na saída do gás, mas são recuperados e reciclados por meio de um ciclone. As principais características deste tipo de gaseificador são: a aceitação de um largo escopo de matérias-primas (inclusive resíduos sólidos, madeira e carvão com carga alta de cinzas); temperatura uniforme; requisitos moderados do oxigênio e do vapor; reciclagem de carvão extensa (MILLER 2005).

Já no gaseificador de **leito de arraste**, o carvão pulverizado é arrastado junto com o meio gaseificador para reagir em um fluxo único numa chama de alta temperatura. O tempo de residência neste gaseificador é bem pequeno e, em geral usa-se oxigênio como oxidante em altas temperaturas para assegurar a conversão de carbono. Sendo assim, a saída das cinzas se dá na forma de escória. Entre as características do tipo do gaseificador estão: habilidade de gaseificar qualquer tipo de carvão, embora tipos de carvão com baixo teor de cinza sejam mais apropriados; temperaturas uniformes; pequeno tempo de residência; necessitam matérias-primas trituradas; larga quantidade de calor sensível no gás bruto; altas temperaturas; e uma quantidade de escória fundida no gás bruto (MILLER 2005).

O relatório americano da TASK 33 - que é um grupo de estudos da Agência Internacional de Energia (IEA) – separam ainda os reatores de leito fixo (*fixed-bed reactors*) – em fluxo ascendente (*updraft*) e descendente (*downdraft*). Os reatores de leito fluidizado são também subclassificados em borbulhante (*bubbling fluid-bed reactors*) e leito fluidizado circulante (*circulating fluid-bed reactors*). Os tipos alinhavados pelo grupo de estudo estão esquematizados de forma simplificada na figura 3 (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 33 D*, 2011).

Figura 7.1 - Tipo de gaseificadores (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 33 D*, 2011)

Em 2008, um projeto de empresas europeias lideradas pela Volkswagen para traçar um panorama geral da rota térmica no continente enumerou as seguintes linhas tecnológicas (RENEW PROJECT, 2009) que efetivamente estavam em funcionamento:

- BLEF-DME, síntese de Dimetil éter por meio de Licor Negro em gaseificador de fluxo de arraste utilizado pela Chemrec;
- cEF-D, a gaseificação por fluxo de arraste para síntese de diesel utilizado pela Umwelt- und Energietechnik Freiberg (UET), das indústrias CHOREN Industries;
- CFB-D, a gaseificação por leito fluidizado circulante para síntese de diesel da Clausthaler Umwelttechnik Institut (CUTEC);
- CFB-E a gaseificação por leito fluidizado para síntese de etanol da Abengoa Bioenergy (Abengoa) & AICIA (Asociación de investigación y cooperación industrial de Andalucía);

- dEF-D, pirólise descentralizada e gaseificação de fluxo de arraste central para síntese de diesel da Forschungszentrum Karlsruhe (FZK);
- EF-E, fluxo de arraste para síntese de etanol da Abengoa Bioenergy (Abengoa) & AICIA (Asociación de investigación y cooperación industrial de Andalucía);
- ICFB-D, a gaseificação de leito fluidizado de circulação interna para síntese de diesel da Universidade Técnica de Viena (TUV), Repotec (RPT) e Usina de Biomassa de Güssing (BKG).

São várias combinações de gaseificação e, além dos modelos acima citados existem vários processos que já eram comercializados já em 1998 (KLASS, 1998, p. 289). Modelos diferentes de pirólise, inserção de oxidantes (oxigênio, vapor, vapor-oxigênio, ar, ar-vapor) já estavam em escala piloto ou de Pesquisa em Desenvolvimento na gaseificação da biomassa. Outras iniciativas agregaram-se a estas e uma necessidade de conhecimento das diversas experiências - e sistematização das informações – tornou-se necessária.

7.2. O conceito de biorrefinaria a partir da gaseificação

Aos avanços tecnológicos na produção de combustíveis (e produtos químicos) sintéticos corresponderam novas terminologias. Segundo Pinto Júnior (2007, p. 306) a alternativa de combustíveis sintéticos pode ser apresentada pelas siglas GTL, cujo significado é Gas-To-Liquids, CTL, que significa Coal-To-Liquids, e BTL, que representa o conceito de Biomass-To-Liquids. Segundo o autor, a flexibilidade dessa alternativa é ilustrada pela Shell com a sigla XTL, sugerindo que com o desenvolvimento da gaseificação, qualquer material poderia ser convertido em combustíveis líquidos.

A evolução das tecnologias de gaseificação dirigidas para o aproveitamento da biomassa e os avanços da rota Biomass-to-Liquids, que viabilizou a possibilidade de a biomassa, via gás de síntese, gerar toda uma cadeia de produtos inicialmente desenvolvidos a partir da cadeia de petróleo possibilitou a criação do conceito de Biorrefinaria. Ou seja, a possibilidade de a cadeia da biomassa, via tratamento térmico, viabilizar a produção de todos os produtos derivados da cadeia petroquímica, além dos combustíveis de segunda geração.

Essa perspectiva mobilizou grandes atores mundiais na busca de uma alternativa que criasse produtos de valor agregado que pudessem substituir a matéria-prima de origem fóssil (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2010).

Segundo Duarte (2009), esse conceito foi originado ainda na década de 1990 e faz alusão às refinarias de petróleo, idealizando uma estrutura “sustentável e integrada, baseada na matéria-prima vegetal como fonte principal para a produção de toda uma cadeia química e industrial energética, além de reunir processos produtivos para a alimentação humana”. Segundo Vaz Jr. (2011), no estudo o Potencial e a Importância das Biorrefinarias para o Brasil realizado pela EMBRAPA:

“os conceitos de biorrefinaria e química verde enfocam este aproveitamento de modo que se tenham cadeias de valor similares àquelas dos derivados do petróleo, porém com menor impacto ao meio ambiente, contemplando sistemas integrados (matérias-primas, processos, produtos e resíduos) sustentáveis, de acordo com parâmetros técnicos que levam em consideração, entre outros aspectos, os balanços de energia e de massa, o ciclo de vida e a redução de gases do efeito estufa. Uma biorrefinaria pode integrar, em um mesmo espaço físico, processos de obtenção de biocombustíveis, produtos químicos, energia elétrica e calor.”

O grupo específico da Agência Internacional de Energia para estudar as biorrefinarias define biorrefino (*biorefining*) como: o processamento sustentável da biomassa em um espectro de produtos vendáveis e energia (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 42*, 2009). Essa é a definição de Kamm (2005, apud *BIOREFINERY EUROVIEW*; BIOPOL, 2009). Já Soetaert (2009, apud *BIOREFINERY EUROVIEW*; BIOPOL, 2009) define biorrefinarias como indústrias baseadas em biomassa, usando uma variedade de diferentes tecnologias para produzir produtos químicos, biocombustíveis, ingredientes alimentares e biomateriais (inclusive fibras) e energia de matéria-prima de biomassa (*BIOREFINERY EUROVIEW*; BIOPOL, 2009). Um critério adicional do relatório Euroview/Biopol (2009) para caracterizar biorrefinarias é que estas devem produzir dois ou mais produtos além da bioenergia, sendo os biocombustíveis considerados bioenergia.

7.3. Experiências mundiais

O aumento da quantidade de biorrefinarias no mundo motivou uma série de sistematizações das informações e mapeamento das experiências. Em 2003, um consórcio de 31 entidades europeias juntou forças no Renew Project. O consórcio surgia em função das discussões sobre a sustentabilidade e a eficiência dos biocombustíveis de primeira geração e visava aperfeiçoar o conhecimento sobre biocombustíveis de segunda geração a partir da biomassa lignocelulósica (BTL). O consórcio, liderado pela Volkswagen, reuniu participantes de toda a cadeia produtiva de combustíveis e automotores, inclusive outras montadoras como Daimler, Renault, Volvo, companhias de petróleo como a BP e Total, companhias de eletricidade como a EDF, de papel e celulose como a Södra, companhias de engenharia como a Chemrec e a Choren, e universidades e institutos de nove países (RENEW PROJECT, 2009).

O consórcio definiu três principais objetivos para um projeto de quatro anos com recursos de 20 milhões de euros para: ampliar o conhecimento da rota BTL e investigar a adequação do combustível para os motores; avaliar a capacidade de biomassa na Europa e analisar propriedades ambientais econômicas e técnicas dos processos de BTL; e preparar recomendações para públicos de interesse (RENEW PROJECT, 2009).

O projeto foi dividido em seis subprojetos, entre os quais quatro dedicados à produção, otimização e teste de combustíveis a partir da rota térmica e do processo Fischer-Tropsch. Como matéria-prima foram utilizados materiais lignocelulósicos como madeira, palha, plantas energéticas e licor negro (subproduto da indústria de papel e celulose). Combustíveis tais como diesel Fischer-Tropsch, Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) e etanol foram produzidos. Os testes de motores mostraram adequação e sustentabilidade do diesel, da nafta e do dimetil eter (DME) como combustíveis. Todos, e mais especificamente o diesel FT e o DME, melhoraram o desempenho de emissões e com relação ao consumo, estes se mostraram igual ou menor com relação aos combustíveis convencionais comparados energeticamente. À época, o relatório destacava duas rotas experiências em particular, a da Choren e a da Chemrec. Destacava também que esses dois conceitos mais avançados estavam

prontos para uma escala de 15 toneladas/ano, com um custo de 0,86 euros o litro do diesel no primeiro caso e 0,50 do DME obtido do licor negro (RENEW PROJECT, 2009).

Outros relatórios mostram outras iniciativas menos coordenadas. Também em 2008, dois projetos o Biorefinery Euroview e o Biopol, que visam, respectivamente, avaliar a situação do conceito de biorrefinaria na União Européia e avaliar os conceitos de biorrefinaria e o impacto nas políticas agrícolas e florestais, elaboraram um relatório a partir de uma pesquisa feita com 2800 industriais em 16 países da União Europeia e mais Noruega, Suíça e Estados Unidos. Mais de 100 questionários de 11 países retornaram com respostas e serviram de base para a análise do relatório (BIOREFINERY EUROVIEW; BIOPOL, 2009).

Atendendo estritamente aos critérios de biorrefinaria estabelecidos pelo documento, foram reconhecidas 21 biorrefinarias avançadas incluindo nove em operação, quatro em estágio de Pesquisa e Desenvolvimento e oito ainda em um estágio incipiente. Além disso, o relatório identificou mais 34 biorrefinarias planejadas. Para estabelecer os critérios, foram usados os conceitos de Biorrefinaria de Kamm e Soetaert. Além disso, para ser considerada biorrefinaria, as plantas deveriam produzir dois ou mais produtos além da energia. Combustíveis como etanol ou biodiesel foram considerados energia (e não produtos) ao lado de eletricidade e calor. Não há no estudo, entretanto, distinção com relação à rota de conversão da celulose e hemicelulose (se térmica ou biológica) nos produtos da biorrefinaria (BIOREFINERY EUROVIEW; BIOPOL, 2009).

A meta de produzir 21 bilhões de biocombustíveis avançados em 2022, estabelecido pelo Departamento de Energia, fez com que nos Estados Unidos o conceito de biorrefinaria também prosperasse. De forma coordenada, o país está buscando desenvolver uma indústria de biorrefinarias integradas capazes de converter um amplo espectro de matérias-primas em combustíveis, energia e outros bioprodutos, através de um Programa de Biomassa que consiste em uma parceria do Departamento de Energia americano com a indústria (DOE, 2010). O programa engloba diversos projetos em diversas regiões do país, como mostra a tabela 7.1.

Tabela 7.1 - Lista de biorrefinarias americanas

Projeto	Localização	Escala	Tecnologia de Conversão
Abengoa	Hugoton, KS	Comercial	Bioquímica
Bluefire LLC	Fulton, MS	Comercial	Bioquímica
Flambeau	ParkFalls, WI	Comercial	Gaseificação
Mascoma	Kinross, MI	Comercial	Bioquímica
POET	Emmetsburg, IA	Comercial	Bioquímica
Rangefuels	Soperton, GA	Comercial	Gaseificação
Enerkem	Pontotoc, MS	Demonstração	Gaseificação
INEOS New Planet Bioenergy LLC	VeroBeach, FL	Demonstração	Híbrida
Lignol	Washington	Demonstração	Bioquímica
New Page	WisconsinRapids, WI	Demonstração	Gaseificação
Pacific Ethanol	Boardman, OR	Demonstração	Bioquímica
RSA	OldTown, ME	Demonstração	Bioquímica
Sapphire Energy Inc.	Columbus, NM	Demonstração	Alga
Verenium	Jennings, LA	Demonstração	Bioquímica
Myriant	LakeProvidence, LA	Demonstração	Bioquímica
Algenol Biofuels Inc	FortMyers, FL	Piloto	Alga
American Process Inc.	Alpena, MI	Piloto	Bioquímica
Amyris Biotechnologies Inc.	Emeryville, CA	Piloto	Bioquímica
Archer Daniels Midland	Decatur, IL	Piloto	Bioquímica
ClearFuels Technology	CommerceCity, CO	Piloto	Gaseificação
Haldor Topsoe Inc.	DesPlaines, IL	Piloto	Gaseificação
ICM Inc.	St.Joseph, MO	Piloto	Bioquímica
Logos Technologies	Visalia, CA	Piloto	Bioquímica
Renewable Energy Institute International	Toledo, OH	Piloto	Gaseificação
Solazyme Inc.	Riverside, PA	Piloto	Alga
UOP LLC	Kapolei, HI	Piloto	Pirólise
ZeaChem Inc.	Boardman, OR	Piloto	Híbrida

(DOE, 2010)

Analisando-se a lista de biorrefinarias americanas do Departamento de Energia Americano (DOE 2010) realizada em 2010, verifica-se que em 27 iniciativas, oito tinham escolhido a rota térmica, que inclui gaseificação e pirólise. Duas biorrefinarias optaram por rotas híbridas com processos térmicos e bioquímicos combinados. Catorze optaram pela rota bioquímica e três por algas.

Com o esforço para viabilizar usos energéticos avançados de biomassa, grupos estruturados pela Agência Internacional de Energia (IEA) foram formados para estudá-los e acompanhar o estágio do desenvolvimento das rotas tecnológicas de conversão. Esses grupos de Tarefas (*Tasks*) Específicas compõem a rede *International Energy Agency Bioenergy*. Tal rede colaborativa visa aperfeiçoar a cooperação e a troca de informações entre os programas nacionais de Pesquisa e Desenvolvimento. Dentro desse grupo há uma tarefa específica

voltada exclusivamente para cuidar de biorrefinarias: a Task 42. No atual momento, os países participantes dessa tarefa específica são apenas: Alemanha, Áustria, Canadá, Dinamarca, França, Holanda e Irlanda (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 42*, 2009). A Tabela 7.2 apresenta uma lista de iniciativa dos países de plantas associadas aos combustíveis de segunda geração.

Tabela 7.2 - Lista de biorrefinarias da Task 42 da Agência Internacional de Energia

País	Matéria-prima	Produtos	Descrição	Status
Austria				
Güssing	Lascas de madeira	SNG e Combustíveis FT	Gaseificação	Planta Piloto
Utzenaich	Capim	Aminoácido, ácido láctico e biogás	Bioquímico	Planta Piloto
Hartberg	Capim	Aminoácido, ácido láctico, biogás e placas de fibras	Bioquímico	Planta Piloto
Canada				
IMUS, Vegreville, AB	Estrume para biogás e trigo para etanol;	Biogás, eletricidade, fertilizantes, etanol e Grãos de Destilação Secos com Solúveis (DDGS)	Hidrólise e fermentação	Planta Piloto
Iogen, Ottawa, ON and Saskatchewan	Palha	Etanol celulósico, lignina e energia	Fracionamento, Hidrólise Enzimática e fermentação	Planta Piloto
Enerkem e Greenfield Ethanol	Resíduos Sólidos Urbanos	Alcoóis	Gaseificação e síntese catalítica	Planta Piloto
Enerkem e parceiros industriais	Postes de eletricidade, resíduos florestais e RSU	Alcoóis	Gaseificação e síntese catalítica	Em desenvolvimento
Enerkem, Kruger, CRB, e University of Sherbrooke's	Resíduos de Floresta e Agricultura	Derivados de pentose, de lignina, fibra de celulose ou etanol	Desestruturação e desagregação da matriz celulose. Fracionamento e despolimerização das frações constitutivas	Planta Piloto
Sun Opta	Palha de trigo cascas de aveia e pedaços de madeira	Etanol celulósico, butanol, xilitol e fibras	Hidrólise enzimática com pré-tratamento	Planta Piloto
Advanced Biorefinery Inc.	Resíduos Florestais e esteco	Bio-óleo, carvão, álcool, acetone e ácido acético de Madeira	Pirólise Rápida	Planta Piloto
NovaGreen	Palha, lascas de madeira e resíduos industriais	Etanol celulósico, xilitol e lignina	Explosão a vapor e fermentação	Planta Piloto

Woodland Biofuels Inc.	Resíduos de Madeira e agricultura e lodo de celulose	Etanol, ácido acético, acetato vinílico, monômeros e formaldeídos	Gaseificação	Planta Piloto
Atlantec Bioenergy Corp	Beterraba	Etanol, fertilizante e eletricidade	Disgestão anaeróbica, e refinaria de nutrientes	Planta Piloto
BioTerre	Esterco	Biogás	Digestão anaeróbica	Planta Piloto
Vider Biomass	Palha de Milho	<i>Peletes</i> , calor e energia combinados (CHP)	Vitrificação e combustão de dois estágios	Planta Piloto
Great Northern Power	Restos de madeira	Calor e energia combinados (CHP)	Gaseificação	Planta Piloto
Denmark				
Inbicon	Palha de trigo	Etanol, combustível sólido e alimento animal	Produção de etanol e combustível sólido	Planta Piloto
Technical University of Denmark /BioGasol	Lignocelulose	Etanol, hidrogênio e biogás	Bioquímica	Planta Piloto
France				
Procethol 2G	Palha de milho	Etanol	Bioquímica	Planta Piloto
Germany				
Agrar-genossenschaft Bergland Clausnitz e.G.	Biomassa	Biogás (5.000 t/a, 175 kWel)	Fermentação em estado sólido e biolixiviação	Planta Piloto
CUTEC-Institut GmbH, Clausthal-Zellerfeld	Biomassa	Biocombustíveis (1 l/h)	Gaseificação Síntese FT Synthesis, BtL	Planta Piloto
Forschungszentrum Karlsruhe, Karlsruhe	Biomassa	Biocombustíveis (500 kg/dia)	Processo Bioliq pirólise rápida da biomassa e gaseificação centralizada, síntese de metanol	Planta Piloto
Planta Piloto Fraunhofer (PAZ) em Schkopau ValuePark	Matérias-primas variadas	Biopolímeros, Biomateriais	Síntese de polímeros e processamento	Planta Piloto

Instituto Fraunhofer para Tecnologia Química, Pfinztal	Matérias-primas variadas	Biopolímeros, Biomateriais	Conversão química da biomassa. Muitas unidades Chemical biomass conversion. Diversas unidades para processamento de polímeros. Matrizes de microondas, unidades de tecnologias em membradas e unidades de processamento de fluidos supercríticos.	Planta Piloto
Instituto para Segurança, Energia e Meio Ambiente Fraunhofer, Oberhausen,	Recursos renováveis	Adsorventes a partir de recursos renováveis	Forno rotativo em Planta Piloto para o desenvolvimento e amostras de adsorventes de alto desempenho a partir de recursos renováveis.	Planta Piloto
Instituto para Segurança, Energia e Meio Ambiente Fraunhofer, Oberhausen,	Recursos renováveis	Biopolímeros	Plásticos biodegradáveis , polímeros a partir de recursos renováveis, nanocompositos. Produção de baixa escala.	Planta Piloto
Instituto para Segurança, Energia e Meio Ambiente Fraunhofer, Oberhausen	Lascas de madeiras	500 kW: 150 kW eletricidade, 250 KW calor	Gaseificação por meio de gaseificador de leito fluidizado circulante para lascas de madeiras, com motor a gas para geração elétrica e pré-tratamento de matéria-prima de biomassa	Planta Piloto
Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim, Bornim	Amido	Ácido Lático (10 t/a)	Biorrefinaria verde para uma produção contínua de ácido láctico. Pré-tratamento de material-prima, fermentação, nanofiltração, eletrodialise, separação de produtos e refino	Planta Piloto
Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim, Bornim	Fibras de Cânhamo	Processo de polpeamento da fibras (300 kg/h)	Pré-tratamento de materia-prima	Planta Piloto
Sauerkraut- und Gemüse-verarbeitungs-GmbH, Ritschenhausen	Algas	Ácido graxos, lipídios, carotenóides (6 t/a)	Fotobiorreator para produzir espécies de microalgas	Planta Piloto
Subitec GmbH, Stuttgart	Microalgas e águas poluídas e CO ₂	Ácido graxos, lipídios, carotenóides, (1,5 t/a) alimentação, alimento, produtos farmacêuticos e cosméticos	Biorrefinaria marinha: produtos de alto valor a partir de microalgas	Planta Piloto

Technische Universität Hamburg-Harburg, Hamburg	Fibra de Linho	Polpa de fibra	Pré tratamento de material prima e processo de síntese de polpa de fibra	Planta Piloto
Uhde Invent-Fischer GmbH, Berlin	Ácido Lático	Biopolímeros, PLA, (50 kg/d)	Miniplant, polymerisation of lactic acid to PLA, downstream operations	Planta Piloto
Netherlands				
Agrologistiek	Culturas florestais	Bioetanol, alimentação, biogas, CO ₂	Planta de pequena escala de bioetanol a partir de culturas arbóreas	Planta Piloto
Bioport R'dam	Importado	2ª geração de biocombustíveis + produtos de biomassa de valor agregado	Biorrefinaria de matéria-prima lignocelulósica	Iniciativa piloto
Biorefinery Cluster	Resíduos de processos	Varios	Biorrefinaria multi-industrial	Iniciativa piloto
Grass refinery (Courage)	Gramíneas	Suco verde e fibras comprimidas	Refinaria de gramíneas: de gramíneas para produtos de valor agregado	Planta Piloto
Nedcalco	Resíduos lignocelulósicos	Bioetanol	Bioetanol a partir de material lignocelulósico	Planta Piloto
NUON	Multi-combustíveis (carvão e biomassa)	Energia e gás de síntese	Conversão termoquímica (Gasificação de alta temperatura gasification)	Demo
TNO	Efluentes orgânicos	Combustíveis e químicos	Conversão hidrotérmica	Planta Piloto
WUR BBP	Biomassa aquática	Vários produtos de biomassas e bioenergia	Cultivo de fracionamento de microalgas	Planta Piloto
ECN	Biomassa aquática	Vários produtos de biomassas e bioenergia	Cultivo de fracionamento de microalgas	Planta Piloto

(INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 42, 2009)

A Agência Internacional de Energia tem ainda outras força-tarefa dedicadas ao tema. A Task Force 33, por exemplo, é específica sobre gaseificação da biomassa e contempla os seguintes países: Áustria, Dinamarca, Itália, Japão, Alemanha, Finlândia, Holanda, Nova

Zelândia, Noruega, Suécia, Suíça, Turquia e Estados Unidos. Esta força-tarefa reúne relatórios sobre políticas dos países que compõem a organização na *home page* www.ieatask33.org (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 33*, 2012). Tais relatórios, entretanto, se mostram diversos no formato, o que dificulta a comparação e a sistematização das informações. Há diferenças, por exemplo, na definição do escopo das atividades. Alguns relatórios consideram como atores participantes de toda a cadeia, como pré-tratamento, limpeza de gases, etc; outros se limitam aos desenvolvedores. Também há diferenças nos limites geográficos das experiências. Alguns relatórios consideram, por exemplo, atores e atividades feitas em outros países. No relatório da Turquia, há inclusive um erro conceitual, uma vez que classifica o gás de aterro como uma iniciativa de gaseificação. Também há uma variação muito grande referente ao ano em que foi feito o relatório. Os relatórios mais antigos, como o inglês que (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 33C*, 2006) mostram, em função das rápidas mudanças que vêm ocorrendo no setor, como será visto mais à frente, pouca relação com a atualidade. Grande parte das experiências relatadas neste relatório já deixou de existir, faliu, passou para outras companhias ou mudou o foco. Essa diferença de atualização é muito importante em um cenário de constante modificação. De 2011 para 2013, a Áustria dobrou a quantidade de indústrias atuando no setor: de seis, passou para treze, e o número de implementações cadastradas de seis para onze (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 33E 2011*; *INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 33F 2012*). A diferença de qualidade dos relatórios também é considerável. O relatório americano demonstra, inclusive, consistência com outras fontes como o próprio relatório do departamento de energia americano, variando apenas alguns critérios de classificação de rota tecnológica (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 33D 2011*; DOE, 2010).

O relatório americano (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 33D 2011*) é bastante abrangente detalhando as iniciativas de gaseificação contempladas desenvolvidos, construídos e operados em parceria com o departamento de energia americano (USDOE). O departamento também valida biorrefinarias em escala piloto (com, pelo menos, uma tonelada métrica seca por dia), escala de demonstração (pelo menos 50 toneladas métricas por dia), e escala comercial (um mínimo de 700 toneladas métricas por dia) com o objetivo de viabilizar a conversão de várias matérias-primas e rotas tecnológicas, reduzindo os riscos técnicos e financeiros da comercialização da tecnologia. Segundo o relatório, os

projetos são estrategicamente localizados em várias regiões do país para promover o desenvolvimento econômico local e regional, com as tecnologias de conversão otimizadas para o tipo de biomassa específico de cada região. São apoiados projetos tanto da rota bioquímica, da termoquímica, processos híbridos e derivados de algas. Entre as que utilizam a rota da gaseificação, são oito experiências que podem ser observadas na figura 4.

Figura 7.2 - Biorrefinarias integradas americanas baseadas em gaseificação (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 33D 2011)

Mesmo relatórios relativamente atualizados como o americano podem apresentar dados já ultrapassados no mercado de biorrefinarias. O mapa (Fig. 4) do relatório de 2011, por exemplo, inclui a Range Fuels como exemplo existente de biorrefinaria a partir do tratamento térmico. Esta empresa já deixou de existir. A atualização das informações no que diz respeito às experiências de biorrefinarias é um aspecto essencial, uma vez que, como todo o mercado incipiente, o mercado de biorrefinarias por tratamento térmico ainda tem alta volatilidade e, ainda, muita especulação.

A compilação das informações fornecidas pelos relatórios da Task 33 está em forma de tabela no anexo 1. Traduzindo em números, os relatórios apontam para a presença de 59

institutos de pesquisa que abordam o tema nestes 13 países, 131 indústrias ligadas ao setor e mais de 80 plantas efetivas, isso sem contar inúmeras pequenas plantas instaladas por um mesmo empreendedor. A japonesa Satake, por exemplo, tem 37 plantas de 10 a 100 kW para aproveitar resíduos florestais no Japão. Deve-se, entretanto, relembrar que há problemas nos relatórios tanto em função do tempo (plantas de relatórios antigos já foram fechadas) e de diferenças metodológicas (gases de aterro e combustão, considerados como gaseificação).

Outra força tarefa dedicada a sistematizar experiências de biocombustíveis em transportes, a Task 39 também tem sido uma importante aliada na divulgação das experiências de biocombustíveis avançados e de segunda geração ao redor do mundo.

Em março de 2013, a Task 39 publicou um relatório sobre combustíveis de segunda geração que contempla 85 projetos. No mesmo relatório de 2010 eram 66 projetos àquela altura em desenvolvimento (BACOVSKY et al, 2010). O relatório divide as experiências em três rotas básicas: a bioquímica, que envolve o pré-tratamento, a hidrólise e a posterior fermentação dos açúcares resultantes; a termoquímica que envolve a gaseificação e a pirólise e a posterior conversão em diversas formas de biocombustíveis; e a química que envolve o hidrotratamento dos óleos vegetais, a descarboxilação catalítica, e a produção de metanol a partir de glicerina (BACOVSKY et al., 2013). A lista de plantas de combustíveis de segunda geração enumera 102 iniciativas com 84 plantas operando ou em construção, e mais 16 projetos parados ou adiados. Além disso, o relatório enumera mais sete experiências que já foram encerradas. São, no total, 109. Uma análise realizada sobre próprio banco de dados da TASK 39 no ano de 2012 resultou em 89 iniciativas entre projetos e plantas e mais seis já encerradas (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 39*, 2012). Com relação ao relatório de 2013, o maior crescimento foi o da rota bioquímica: de 42 iniciativas, as plantas que optam por essa rota alcançaram 56, neste ano. O crescimento das plantas que optam pela rota térmica é bem menor, passando de 21 iniciativas para 23. Na tabela 7.3 são apresentados os nomes dos projetos, os seus proprietários, a localidade e a tecnologia.

Tabela 7.3 – Lista de plantas de biocombustíveis avançados da Task 39

Proprietário do Projeto	Nome do projeto	Localidade	Tecnologia
Aalborg University Copenhagen	BornBiofuel optimization	Copenhagen e Bornholm, Dinamarca	bioquímica

Abengoa Bioenergy New Technologies	piloto	York, Estados Unidos	bioquímica
Abengoa Bioenergy	demo	Babilafuente, Salamanca, Espanha	bioquímica
Abengoa Bioenergy, S.A.	Abengoa Arance EC demonstration	Arance, França	bioquímica
Abengoa Bioenergy Biomass of Kansas, LLC	comercial	Hugoton, Estados Unidos	bioquímica
Aemetis	piloto	Butte, Estados Unidos	bioquímica
Amyris, Inc.	Amyris Pilot & Demonstration Plant	Campinas, Brasil	bioquímica
Amyris, Inc.	Amyris USA	Emeryville, Estados Unidos	bioquímica
Amyris, Inc.	Amyris Biomin	Piracicaba, Brasil	bioquímica
Amyris, Inc.	Amyris Paraíso	Brotas, Brasil	bioquímica
Amyris, Inc.	Amyris São Martinho	Pradópolis, Brasil	bioquímica
Amyris, Inc.	Amyris Tate & Lyle	Decatur, Estados Unidos	bioquímica
Amyris, Inc.	Amyris Antibioticos	Leon, Espanha	bioquímica
Beta Renewables (joint venture, Mossi & Ghisolfi Chemtex divison, with TPG)	Piloto	Rivalta Scrivia, Itália	bioquímica
Beta Renewables (joint venture, Mossi & Ghisolfi Chemtex divison, with TPG)	IBP – Italian Bio Products	Crescentino (VC), Itália	bioquímica
BioGasol	BornBioFuel 1	Ballerup, Dinamarca	bioquímica
BioGasol	BornBioFuel 2	Aakirkeby, Bornholm, Dinamarca	bioquímica
Blue Sugars Corporation (formerly KL Energy)	Blue Sugars	Upton, Estados Unidos	bioquímica
Borregaard AS	BALI Biorefinery Demo	Sarpsborg, Noruega	química/bioquímica
Borregaard AS	ChemCell Ethanol	Sarpsborg, Noruega	química/bioquímica

BP Biofuels	Jennings Demonstration Facility	Jennings, Estados Unidos	bioquímica
Chempolis Ltd.	Chempolis Biorefining Plant	Oulu, Finlandia	bioquímica
Clariant	sunliquid	Straubing, Alemanha	bioquímica
DuPont	DuPont Cellulosic Ethanol Demonstration plant	Vonore, Tennessee, Estados Unidos	hidrólise enzimática
Fiberight LLC	Integrated Demonstration Plant	Lawrenceville, VA Estados Unidos	bioquímica
Fiberight LLC	Commercial Plant	Blairstown, IA Estados Unidos	bioquímica
Frontier Renewable Resources	Kinross Plant 1	Kincheloe, Michigan, Estados Unidos	bioquímica
GraalBio		Brasil	bioquímica
Inbicon (DONG Energy)	piloto 1	Fredericia, Dinamarca	bioquímica
Inbicon (DONG Energy)	piloto 2	Fredericia, Dinamarca	bioquímica
Inbicon (DONG Energy)	demo	Kalundborg, Dinamarca	bioquímica
INEOS Bio	Indian River County Facility	Vero Beach, Estados Unidos	bioquímica
Iogen Corporation	Iogen Corporation's Ottawa Demonstration Facility	Ottawa, Canadá	Bioquímica
Iowa State University	BioCentury Research Farm	Boone, Iowa, Estados Unidos	três linhas: bioquímica, termoquímica and bioprocessing
LanzaTech New Zealand Ltd.	Waste gas to fuel	Glenbrook, Nova Zelândia	bioquímica
LanzaTech BaoSteel New Energy Co., Ltd.		Shanghai, China	bioquímica
LanzaTech, Inc.	LanzaTech Freedom Pines Biorefinery	Georgia, Estados Unidos	bioquímica
LanzaTech, Inc.	LanzaTech Freedom Pines Biorefinery	Georgia, Estados Unidos	bioquímica

Lanza Tech Beijing Shougang LanzaTech New Energy Technology Co, Ltd.		Beijing, China	bioquímica
Concord Enviro Systems PVT Ltd.		Aurangabad, Índia	bioquímica
Lignol Innovations Ltd.	Integrated Pilot-scale Biorefinery	Burnaby, BC, Canadá	organosolv pré-tratamento com bioconversão
Mascoma Corporation	Demonstration Plant	Rome, NY, Estados Unidos	bioquímica
New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)	Development of an Innovative and Comprehensive Production System for Cellulosic Bioethanol	Hiroshima, Japão	bioquímica
NREL (National Renewable Energy Laboratory)	Integrated Biorefinery Research Facility (IBRF)	Golden, Colorado, Estados Unidos	bioquímica
Petrobras	piloto	Rio de Janeiro, Brasil	bioquímica
Petrobras e Blue Sugars	Second generation ethanol demo plant	Upton, Wyoming, Estados Unidos	bioquímica
POET-DSM Advanced Biofuels	Project LIBERTY	Emmetsburg, Estados Unidos	bioquímica
POET	Scotland	Scotland, Estados Unidos	bioquímica
PROCETHOL 2G	Futurol Project	Pomacle, França	bioquímica
Queensland University of Technology	Mackay Renewable Biocommodities Pilot Plant	Mackay, Austrália	bioquímica – pré-tratamento, hidrólise enzimática e separação de produtos
SEKAB/EPAB	demo plant	Örnsköldsvik, Suécia	bioquímica
SEKAB	planned demo plant	Goswinowice, Polônia	bioquímica
TNO	Superheated steam piloto plant	Zeist, Holanda	bioquímica
Weyland AS	Weyland Pilot Plant	Bergen, Noruega	bioquímica
ZeaChem Inc.	Demonstration scale biorefinery	Boardman, Oregon, Estados Unidos	bioquímica

ZeaChem Inc.	Commercial scale biorefinery	Boardman, Oregon, Estados Unidos	bioquímica
Biomassekraftwerk Güssing	SNG demo	Güssing, Áustria	termoquímica
Chemrec AB	BioDME	Pitea, Suécia	termoquímica
ECN	piloto	Petten, Holanda	termoquímica
Consortium Groen Gas 2.0 (ECN, HVC, Gasunie, Royal Dahlman, Province North-Holland)	demo	Alkmaar, Holanda	termoquímica
Enerkem	Sherbrooke pilot plant and research centre	Sherbrooke, Canadá	termoquímica
Enerkem	Westbury commercial demonstration facility	Westbury, Canadá	termoquímica
Enerkem Alberta Biofuels LP	Edmonton Waste-to-Biofuels Project	Edmonton, Canadá	termoquímica
Enerkem Mississippi Biofuels LLC	Enerkem Mississippi Biofuels	Pontotoc, Estados Unidos	termoquímica
Enerkem Varennes Cellulosic Ethanol L.P.	Varennes Cellulosic Ethanol	Varennes, Canadá	termoquímica
Göteborg Energi AB	GoBiGas Plant – Phase 1	Göteborg, Suécia	termoquímica; gaseificação térmica e metanização
Greasoline GmbH	sts-plant	Oberhausen, Alemanha	termoquímica
GTI, Gas Technology Institute	Flex-Fuel and Advanced Gasification Test Facilities, Wood to Gasoline	Des Plaines, Illinois, Estados Unidos	termoquímica
GTI, Gas Technology Institute	IH2 – 50 Continuous Pilot Plant	Des Plaines, Illinois, Estados Unidos	termoquímica-hidropirólise e hidroconversão
Iowa State University	BioCentury Research Farm	Boone, Iowa, Estados Unidos	três linhas: bioquímica, termoquímica e bioprocessamento

Karlsruhe Institute of Technology (KIT)	bioliq	Karlsruhe, Alemanha	termoquímica
Licella	Biomass to Bio-Crude	Near Sydney in Somersby, NSW, Austrália	Catálise melhoria hidrotermica
NREL (National Renewable Energy Laboratory)	Termoquímica Users Facility (TCUF)	Golden, Colorado, Estados Unidos	termoquímica (gaseificação e pirólise)
Research Triangle Institute	Synfuel production	Carolina do Norte, Estados Unidos	termoquímica
Southern Research Institute	technology development laboratory and pilot plant – termoquímica	Durham, Estados Unidos	termoquímica
Tembec Chemical Group	demo	Temiscaming, Quebec, Canadá	termoquímica
TUBITAK	TRIEN (Liquid Fuel Production From Biomass and Coal Blends)	Gebze, Turquia	termoquímica
Vienna University of Technology	FT pilot	Güssing, Áustria	termoquímica
Virent, Inc.	Eagle Demonstration Plant	Madison, Wisconsin, Estados Unidos	Termoquímica
AlphaJet Inc.	AlphaJet Pilot Plant	n/a	Catálise decarboxilação
BioMCN	BioMCN commercial	Farmsum, Holanda	Química
Dynamic Fuels LLC	Geismar Project	Geismar, Estados Unidos	Química
Neste Oil	Porvoo 1	Porvoo, Finlândia	Química
Neste Oil	Porvoo 2	Porvoo, Finlândia	Química
Neste Oil	Rotterdam	Rotterdam, Holanda	Química
Neste Oil	Singapore	Cingapura, Cingapura	Química

(BACOVSKY et al., 2013)

Já o Conselho de Tecnologias de Gaseificação (GTC), que são grupos privados interessados no desenvolvimento da tecnologia de gaseificação (não especificamente de biomassa) enumera outra lista de gaseificadores específicos de biomassa que envolvem outros

países além dos membros das *Task Forces* do *International Energy Agency Bioenergy*. A Tabela 7.4 apresenta a lista de biorrefinarias do Conselho de Tecnologias de Gaseificação.

Tabela 7.4 - Lista de biorrefinarias do Conselho de Tecnologias de Gaseificação

	Ano	Região	País	Nome da Tecnologia	Principal produto	Matéria Prima
Fuel Gas Plant	1996	Europa	Alemanha	Lurgi Circulating Fluidized Bed Gasification Process	Combustíveis gasosos	Biomassa/ Resíduos
Americerale Fuel Gas Plant	2000	Europa	Holanda	Lurgi Circulating Fluidized Bed Gasification Process	Energia	Biomassa/ Resíduos
Värnamo IGCC Demonstração Plant	1993	Europa	Suécia	Foster Wheeler Pressurized Circulating Fluidized Bed Gasifier	Energia	Biomassa/ Resíduos
Varkaus ACFBG Plant	2001	Europa	Finlândia	Foster Wheeler Atmospheric Circulating Fluidized Bed Gasifier	Combustíveis gasosos	Biomassa/ Resíduos
Kymijärvi ACFBG Plant	1998	Europa	Finlândia	Foster Wheeler Atmospheric Circulating Fluidized Bed Gasifier	Energia	Biomassa/ Resíduos
Pietarsaari ACFBG Unit	1983	Europa	Finlândia	Foster Wheeler Atmospheric Circulating Fluidized Bed Gasifier	Combustíveis gasosos	Biomassa/ Resíduos
Norrundet ACFBG Unit	1984	Europa	Suécia	Foster Wheeler Atmospheric Circulating Fluidized Bed Gasifier	Combustíveis gasosos	Biomassa/ Resíduos
Rodao ACFBG Unit	1985	Europa	Portugal	Foster Wheeler Atmospheric Circulating Fluidized Bed Gasifier	Combustíveis gasosos	Biomassa/ Resíduos
Biomass to	2013	Europa	Espanha	Udde PRENFLO Gasification	Químicos	Biomassa/ Resíduos

Chemicals				Technology		
Biomass to Liquids Plant	2013	Europa	França	Uhde PRENFLO Gasification Technology	Combustíveis de motores	Biomassa/ Resíduos
Skive CHP	2008	Europa	Dinamarca	GTI U-GAS Gasification Process	Energia	Biomassa/ Resíduos

(GTC 2011)

Cruzando todos os dados apresentados, selecionando apenas iniciativas específicas de conversão térmica verifica-se a seguinte lista de plantas de gaseificação:

Tabela 7.5 - Compilação das listas de plantas de gaseificação

Projeto	Localização	País	Lista
CUTEC-Institut GmbH, Clausthal-Zellerfeld		Alemanha	Task 42
Forschungszentrum Karlsruhe, Karlsruhe		Alemanha	Task 42
Fuel Gas Plant		Alemanha	GTC
Greasoline GmbH	Oberhausen,	Alemanha	Task 39
Instituto para Segurança, Energia e Meio Ambiente Fraunhofer, Oberhausen		Alemanha	Task 42
Karlsruhe Institute of Technology (KIT)	Karlsruhe, Germany	Alemanha	Task 39
Licella	Near Sydney in Somersby, NSW	Australia	Task 39
Vienna University of Technology	Güssing	Austria	Task 39
Biomassekraftwerk Güssing	Güssing	Austria	Task 39
Eberndorf		Austria	Task 33
Klagenfurt		Austria	Task 33
Konstanz, DE		Austria	Task 33
Neukirchen		Austria	Task 33
Neumarkt		Austria	Task 33
Oberwart		Austria	Task 33
Ruden		Austria	Task 33
Sulzbach-Laufen, DE		Austria	Task 33
Ulm		Austria	Task 33
Villach		Austria	Task 33
Enerkem	Sherbrooke	Canadá	Task 39
Enerkem	Westbury	Canadá	Task 39

Enerkem Alberta Biofuels LP	Edmonton,	Canadá	Task 39
Tembec Chemical Group	Temiscaming, Quebec	Canadá	Task 39
Advanced Biorefinery Inc.		Canadá	Task 42
Great Northern Power		Canadá	Task 42
Woodland Biofuels Inc.		Canadá	Task 42
Enerkem Varennes Cellulosic Ethanol L.P.	Varennes	Canadá	Task 39
Ansager Stirling		Dinamarca	Task 33
Gjøl	Gjøl	Dinamarca	Task 33
Græsted	Græsted	Dinamarca	Task 33
Harboøre CHP plant	Harboøre	Dinamarca	Task 33
Kibæk CHP plant	Kibæk	Dinamarca	Task 33
Løgstør CHP plant	Fredericiagade	Dinamarca	Task 33
Weiss A/S	Hadsund	Dinamarca	Task 33
Skive CHP		Dinamarca	GTC
Biomass to Chemicals		Espanha	GTC
ClearFuels /Rentech	Commerce City, Colorado	EUA	Task 33
Enerkem Mississippi Biofuels LLC	Pontotoc, MS	EUA	DOE
Flambeau	ParkFalls, WI	EUA	DOE
GTI, Gas Technology Institute	Des Plaines, Illinois	EUA	Task 39
Haldor Topsoe Inc.	DesPlaines, IL	EUA	DOE
INEOS New Planet Bioenergy LLC	VeroBeach, FL	EUA	DOE
Iowa State University	Boone, Iowa	EUA	Task 39
New Page	WisconsinRapids, WI	EUA	DOE
NREL (National Renewable Energy Laboratory)	Golden, Colorado	EUA	Task 39
Renewable Energy Institute International	Toledo, OH	EUA	DOE
Research Triangle Institute	North Carolina	EUA	Task 39
Southern Research Institute	Durham	EUA	Task 39
UOP LLC	Kapolei, HI	EUA	DOE
Virent, Inc.	Madison, Wisconsin	EUA	Task 39
ZeaChem Inc.	Boardman, OR	EUA	DOE
BIONEER gasifier	Cinco lugares	Finlândia	Task 33
Kokemäki Novel-gasification plant	Kokemäki	Finlândia	Task 33
Varkaus gasification plant/Corenso	Varkaus	Finlândia	Task 33
Kymijärvi ACFBG Plant		Finlândia	GTC

Lahti Kymijärvi Plant /Lahden Energia Ou	Lahti	Finlândia	Task 33
Pietarsaari ACFBG Unit		Finlândia	GTC
Varkaus ACFBG Plant		Finlândia	GTC
Biomass to Liquids Plant		França	GTC
Americentrale Fuel Gas Plant		Holanda	GTC
Bioport R'dam		Holanda	Task 42
Biorefinery Cluster		Holanda	Task 42
NUON	Buggenum	Holanda	Task 42
The 3 MWth CFB chicken manure gasifier	Tzum	Holanda	Task 33
The Essent 30 MWe CFB gasifier	Geertruidenberg	Holanda	Task 33
TNO		Holanda	Task 42
Torbed gasifier,		Holanda	Task 33
Consortium Groen Gas 2.0 (ECN, HVC, Gasunie, Royal Dahlman, Province North-Holland)	Alkmaar	Holanda	Task 39
ECN	Petten	Holanda	Task 39
Agroenergia	Gadesco Pieve(CR)	Itália	Task 33
Autogas Nord	Caluso(TO)	Itália	Task 33
Bio&Watt	Castel San Pietro(BO)	Itália	Task 33
Bio&Watt	Oltrepo Pavese(PV)	Itália	Task 33
Bio&Watt	Orzinuovi(BS)	Itália	Task 33
Bio&Watt	Pomarico(MT)	Itália	Task 33
Caema	Quingentole(MN)	Itália	Task 33
Caema/Rivoira	Belluno(BL)	Itália	Task 33
Caema/Rivoira	Parma(PA)	Itália	Task 33
CoVer Energy	Verbania(VB)	Itália	Task 33
Guascor	Rossano(CS)	Itália	Task 33
ICQ/SIAG/ERBA	Torre S.Susanna	Itália	Task 33
Modello GAS-500	Vigevano(PV)	Itália	Task 33
poliTO	Alessandria(AL)	Itália	Task 33
Stirling	Castel D'Aiano(BO)	Itália	Task 33
Biomass Energy Corporation		Japão	Task 33
Chugai Ro Co	Yamaguchi and Kumamoto	Japão	Task 33
CRIEPI & Okadora Co.		Japão	Task 33
JFE Engineering Corporation		Japão	Task 33
Kawasaki Heavy Industries, Ltd.	Niyodogawa, Kochi	Japão	Task 33

Meidensha Corporation		Japão	Task 33
Mitsubishi Heavy Industries Ltd.	Nagasaki	Japão	Task 33
Satake Group	37 plantas	Japão	Task 33
Shimizu Corporation		Japão	Task 33
Shinko Plantech Co., Ltd, & OTOMO Co., & Toyo System Co., Ltd		Japão	Task 33
TAKUMA	Kyoto	Japão	Task 33
Torisumi Co. Ltd.		Japão	Task 33
Tsukishima Kikai		Japão	Task 33
Tsukishima Kikai Co.	Iwate (MSW) Saitama (Forestry Residues)	Japão	Task 33
Yagi Kensetsu Co., & Ube Techno Eng. Co., Ltd		Japão	Task 33
Averøy	Averøy	Noruega	Task 33
Forus	Forus	Noruega	Task 33
Hurum	Hurum	Noruega	Task 33
Ranheim	Ranheim	Noruega	Task 33
Sarpsborg	Sarpsborg	Noruega	Task 33
Agder Biocom (Norway) - Waiariki wood waste gasification plant	Auckland	Nova Zelândia	Task 33
Rodao ACFBG Unit		Portugal	GTC
Norrsundet ACFBG Unit		Suécia	GTC
Värnamo IGCC Demonstração Plant		Suécia	GTC
Bioneer	Vilhelmina	Suécia	Task 33
Chemrec black liquor pilot plant (Volvo Technology Transfer - VTT)	Piteå	Suécia	Task 33
Cortus AB	Köping	Suécia	Task 33
Domsjö/Chemrec	Örnsköldsvik	Suécia	Task 33
EON Bio2G	South Sweden	Suécia	Task 33
Foster Wheeler	Norrsundet	Suécia	Task 33
Gothenburg Biomass Gasification Project, GoBiGas	Gothenburg	Suécia	Task 33
MEVA Innovation VIPP Gasifier, Hortlax	Piteå	Suécia	Task 33
Rottneros	Rottneros and Vallvik	Suécia	Task 33
SAKAB Norrtrorp	Norrtrorp, Kumla	Suécia	Task 33
VärmlandsMetanol - Uhde (ThyssenKrupp)	Hagfors	Suécia	Task 33
Värö plant - Metso	Värö	Suécia	Task 33

(Götaverken)			
EMPA		Suíça	Task 33
Ankara-Mamak	Ankara-Mamak	Turquia	Task 33
TUBITAK	Gebze,	Turquia	Task 39

(Elaboração própria)

É importante ressaltar que algumas das linhas são nomes de empresas que têm muitas plantas pequenas de gaseificação distribuídas em vários pontos. É o caso da empresa japonesa Satake, que possui gaseificadores em 37 pontos do Japão. É o caso também da empresa Bioneer que tem gaseificadores em cinco localidades. Em função das diferenças de fontes e análises, bem como da data de publicação das fontes, é possível que algumas plantas sejam as mesmas, mas com nome de empreendedores diferentes. As plantas registradas, mas já encerradas foram retiradas da lista. O resultado de 123 plantas ao redor do mundo mostra um considerável esforço no sentido de viabilizar a gaseificação, ainda que já tenha havido muito desapontamento com experiências que se mostravam promissoras.

7.4 Fracassos na terceira fase da gaseificação e aprendizado

Apesar de a gaseificação ter uma história bastante longa de conhecimento, na sua nova fase de conversão térmica da biomassa, o desafio de superar ou mesmo se aproximar das vantagens energéticas do petróleo tem sido bastante complicado. No pequeno período de duas décadas, alternaram-se iniciativas ambiciosas com o fechamento de plantas representativas. O primeiro ciclo de iniciativas, ainda no final do século XX veio em um contexto de perspectiva de grandes transformações tanto sociais como na infraestrutura energética. A disseminação da Internet fomentava essa perspectiva. Novos modelos de produção se propunham para alterar radicalmente a realidade passada. O petróleo entrou na lista de questões a serem ultrapassadas. Na última década do século XX, com algum conhecimento dos impactos das mudanças climáticas, a aposta em uma nova era energética era evidente (YERGIN, 1994). Nesse contexto, citava-se comumente uma frase célebre do Sheik Ahmed Zaki Yamani, que liderou as negociações sauditas durante as crises de petróleo: “A Idade da Pedra não acabou porque tivemos uma falta de pedras, a Idade do petróleo não vai acabar por falta de petróleo” (THE GUARDIAN 2001).

A tecnologia, entretanto não avançou tanto quanto as intenções. A gaseificação, aliada às perspectivas da Fischer-Tropsch, fazia parte da estratégia de superação do petróleo. Baseada nessa rota, algumas iniciativas buscaram a transformação da biomassa não alimentar em substituição ao petróleo ainda no final do século XX. Sobre esses fracassos, o relatório sueco da Task 33 é bastante abrangente e junto com a exposição de Lars Waldheim (2012) no Simpósio de Gaseificação promovido pela FAPESP em Setembro de 2012 oferecem um grande panorama desse primeiro ciclo de falhas da terceira fase da gaseificação (no contexto do uso moderno da biomassa). Dentre os fracassos, o mais famoso foi o projeto ARBRE (Arable Biomass Renewable Energy), em North Yorkshire, no Reino Unido. Para detalhar os fatores que levaram o Projeto ARBRE a fracassar, Piterou et al.(2008) publicaram o artigo *Project ARBRE: Lessons for bio-energy developers and policy-makers* o processo de falência da empresa. O objetivo do estudo foi oferecer as informações necessárias para que outras iniciativas não venham a cometer os mesmos erros.

7.4.1. Projeto ARBRE

Em 1993, a União Europeia aceitou financiar parcialmente duas plantas de ciclo combinado a partir da gaseificação da biomassa, com potência de 8 a 12 MWe cada. Em 1994, a proposta entrou na terceira parcela do Reino Unido de Obrigação de Não Combustíveis Fósseis (UK NFFO3), oferecendo uma remuneração válida até 2013 (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 33B*). O Projeto tinha que demonstrar para a Comissão Europeia a viabilidade de gaseificação de Biomassa em sistemas energéticos de ciclo combinado bem como o desenvolvimento de um suprimento efetivo de resíduos de agricultura e florestas (PATERSON e WEEKES, 2003, apud PITEROU et al. 2008). Também deveria produzir eletricidade para abastecer as necessidades de 33.500 pessoas (Fardy, 2000 apud PITEROU et al.). Em dezembro de 1995, foi constituída a empresa responsável pelo projeto com o nome de ARBRE Energy Limited (AEL). O sócio majoritário do empreendimento era a empresa Yorkshire Water Plc, depois renomeada Kelda. A planta seria abastecida por arbustos de curta rotação e deveria consumir 43 mil toneladas secas de madeira por ano com uma eficiência líquida de aproximadamente 30%. O processo de licenciamento começou em 1996 e a sua permissão saiu em fevereiro de 1997 (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 33B*).

A madeira alimentaria um gaseificador de leito fluidizado circulante (CFB) operando a aproximadamente 850°C gerando um gás de baixo poder calorífico. Tal gás era purificado do alcatrão em um segundo gaseificador CFB operando em uma temperatura maior. A quebra do alcatrão assegurava uma perda menor do valor calorífico. Em seguida o gás passava por filtros a aproximadamente 200 °C. O calor removido era reciclado no pré-aquecimento. O gás então seria utilizado na turbina de geração com o calor dos gases efluentes servindo para a geração de vapor em um sistema de cogeração. Em paralelo, parte do gás abasteceria a caldeira para a geração de vapor para uma turbina a vapor (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 33B*).

Entretanto, problemas econômicos começaram a surgir ainda em 1997. Antes do contrato *turnkey* saíram da parceria três parceiros do projeto: AEP, Niro AS e a única empresa de energia elétrica SouthWales Power (SWP). Segundo Piterou et al. (2008), há poucas informações ou registros sobre as razões que levaram a este abandono. Há, apenas, indicação de que a AEP, inicialmente responsável pela gestão do contrato *turnkey*, reconsiderou ao avaliar o projeto, considerando-o extremamente complexo e sem evidências de vantagens técnicas.

Com o abandono da AEP, a empresa SEC, que veio a falir em 2000, ficou responsável pela gestão do contrato *turnkey*. A empresa majoritária, a Kelda (ex-Yorkshire Water Plc que controlava o programa via sua subsidiária FRL) era uma empresa cuja área de principal atuação era saneamento precisava da *expertise* de uma boa gestora. Em 2002, a empresa Energy Power Resources Limited (EPR) adquiriu a FRL que, dois meses depois, encerrou os trabalhos, mostrando maior interesse por outras plantas do portfólio da FRL, em especial de incineração (PITEROU et al. 2008)

Piterou et al. (2008) defendem que o projeto poderia ser bem sucedido por contar com uma tecnologia bem estabelecida, apoio financeiro e organizacional de uma empresa de serviços públicos, financiamento público e contrato de longo prazo a taxas favoráveis com uma empresa de energia elétrica e fornecedores de biomassa assegurados. O insucesso da empresa levou os pesquisadores a buscar as suas possíveis razões. Através de um questionário foram consultados oito atores relevantes na empresa. Os pesquisados foram: dois ex-gerentes de uma empresa envolvida no projeto; dois atuais gerentes de empresas envolvidas no projeto; um pesquisador do Centro Tyndall para Mudanças Climáticas; um professor senior do

Imperial College; um oficial do Departamento de Indústria e Comércio do Reino Unido, um gerente da Comissão de Florestas; e um oficial do Diretorado Geral de Energia e Comércio da Comissão Europeia.

As versões para o fracasso do empreendimento são relativamente contraditórias, evidenciando que o número de empresas envolvidas, com objetivos distintos, foi um complicador para a operação.

Os autores separam em cinco aspectos as causas para o insucesso:

- 1) Problemas financeiros, em função do aumento dos custos, frente a um financiamento público fixo, bem como o desinteresse dos bancos o que aumentou a dependência do projeto à Kelda, que tinha como negócios principais o setor de saneamento;
- 2) Problemas organizacionais e relacionados à integração entre os participantes do projeto principalmente a partir das três primeiras desistências, entre eles a única empresa de eletricidade, a SWP. As decisões basicamente centralizadas na Kelda levaram a decisões técnicas equivocadas, como a própria matéria-prima da gaseificação (arbustos de curta rotação). A falta de priorização na própria Kelda, bem como o grande número de parceiros, com falta de coesão comprometeu a possibilidade de sucesso da planta. O processo de desintegração se acirrou depois que a Kelda passou para a EPRL, já que o processo ocorreu sem transparência para os demais atores.
- 3) Problemas no apoio do governo britânico, tanto no nível local para as licenças ambientais, quanto no geral. Embora o governo tenha aportado recursos do Fundo Non-Fossil Fuel Obligation (NFFO) que priorizava geração elétrica, o projeto não pode se candidatar a receber fundos da agência de energia Energy Technology Support Unit (ESTU) que priorizava rotas tecnológicas que integrassem gaseificadores em planta piloto.
- 4) Com relação às questões técnicas, o principal obstáculo foi o resfriamento e limpeza dos gases, o craqueador de alcatrão, que prometia ser o processo mais inovador da planta não funcionou como se esperava, removendo em apenas 50-60% o alcatrão. Outro problema era a recalcificação do óxido de cálcio e do carbonato de cálcio. Além disso, os equipamentos, testados com sucesso individualmente, apresentaram problemas quando colocados em conjunto, o que demandaria mais tempo de ajustes.

- 5) Com relação ao abastecimento de matéria-prima, a tecnologia exigia uma migração de produtores rurais para produzir os arbustos de curta rotação que abasteceriam a planta. Uma nova cadeia produtiva seria demandada e a demora na produção da planta e a insegurança gerada diminuíram a confiança de produtores para migrarem a sua produção.

O estudo conclui que o fracasso se deveu a uma série de fatores, mas que uma supervisão de uma instituição financeira e um subsídio que desse suporte em todo o projeto, por parte do governo do Reino Unido, poderiam assegurar melhores resultados (PITEROU et al. 2008).

7.4.2. Grève-in-Chianti

Outra planta de gaseificação que criou grande expectativa na Europa também encerrou as suas operações no início da década do século XXI: a usina de Grève-in-Chianti, situada na região próxima de Florença. No final da década de 1980, foi licenciada a tecnologia de gaseificação da sueca Termiska Processer AB (TPS), para a construção da planta contruída por Ansaldo Aerimpianti para a empresa italiana Servizi Ambientali Area Fiorentina (S.A.F.I.).

A planta seria abastecida por peletes de Residues Derived Fuel (RDF), cuja matéria-prima eram os resíduos urbanos da região. Dois gaseificadores do tipo leito fluidizado circulante (CFB) de 15MW cada operavam em pressão atmosférica a uma temperatura de aproximadamente 850°C empregando ar como agente gaseificante. Parte do ar era injetado da parte superior do gaseificador, parte na parte inferior, criando um leito de alta densidade na parte baixa do gaseificador. O tamanho dos peletes deveria ser, no máximo, 150 mm. O gás cru de cada gaseificador passava por dois estágios de separação antes de se transformar em combustível para caldeira, alto-forno, ou mesmo para cimenteira próxima da planta. O valor calorífico médio era de 8 MJ/Nm³.

A iniciativa que começara nos anos de 1989-90 com testes para gerar 2MWth, começou a funcionar para clientes em 1993. Em 1996, o fornecedor de RDF começou a abastecer regularmente os gaseificadores. Os principais problemas operacionais na planta de

Grève eram relacionados à queima do gás que continha altos teores de fuligem. Granatstein (2003) afirma que o problema principal ocorreu em função das caldeiras mal projetadas. A planta original previa uma caldeira para cada gaseificador, mas até 1998, só uma funcionava. Além da nova caldeira, eram necessárias a inclusão de um novo sistema de limpeza de gás comprimido e um segundo ciclone separador de sólidos, bem como um resfriador de gás e filtros de cerâmica. Os custos das modificações estavam estimados em € 9,7 milhões, dos quais € 1,5 milhões viriam do programa EU THERMIE, mas não foram realizados. A planta foi fechada em 2004, já que uma planta incineradora implantada na região ofereceu os serviços de tratamento de forma mais acessível (WALDHEIM, 2012).

7.4.3. Projetos não levados adiante no Brasil

O Brasil, que ao longo dos anos acumulara um conhecimento significativo sobre biocombustíveis, também esboçou as suas iniciativas de conversão térmica da celulose. Em 1992, foi idealizada uma planta de 30MWe alimentada por eucalipto no nordeste brasileiro. O projeto era patrocinado, entre outros, pelo Banco Mundial e pelo Conselho Nacional Sueco para Desenvolvimento Industrial e Técnico (NUTEK), e depois de 2000 pela Comissão Europeia. O consórcio que realizava o projeto era formado inicialmente pela Shell do Brasil, Eletrobras e CHESF, empresas que acabaram desistindo do projeto. Em 2004, uma empresa privada quis comprar os direitos e contar com o apoio do Banco Mundial, mas acabou não tendo sucesso.

Em 1996, outra iniciativa baseou-se na gaseificação do bagaço da cana para gerar eletricidade. O projeto, chamado de projeto BIG-GT foi financiado pela Copersucar e pelo Fundo GEF das Nações Unidas. Em 2000, o projeto recebeu um suporte adicional do Programa Energético Europeu. Uma planta piloto com *peletes* de bagaço chegou a rodar entre 1998 e 1999, mas os planos de estabelecer um projeto de demonstração baseado no processo não teve continuidade (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 33B* 2008).

Embora esse primeiro ciclo de fracassos tenham se dado já em um momento de preocupação com as mudanças climáticas, já que em 1992 criou-se a Convenção Quadro de Mudanças Climáticas, e em 1997, estabeleceu-se o Protocolo de Quioto, com metas de redução de emissões para determinados países, essas primeiras iniciativas da década de 1990 ainda não tinham todo o suporte e expectativa que viriam a ter iniciativas subsequentes. Isso

porque, estas últimas já foram implantadas em um contexto em que os estados, sensibilizados pelo quarto relatório de 2007 e sua grande repercussão, reforçariam incentivos para a migração tecnológica para as fontes renováveis. Por essa razão, o segundo ciclo de fracassos é ainda mais significativo no sentido de evidenciar o desafio que a tecnologia tem para se consolidar.

7.5. O segundo ciclo de fracassos da moderna gaseificação

Em um ambiente de crescente preocupação com as mudanças climáticas e metas cada vez mais arrojadas de substituição dos combustíveis fósseis, as tentativas de converter a celulose em combustíveis permaneceram prioridades, mesmo com os primeiros fracassos. Algumas experiências geraram rotas tecnológicas que seriam fontes de outros projetos. É o caso da rota tecnológica Silvagas, na qual o aquecimento é baseado em um sistema chamado *heat transfer solid* (HTS). A tecnologia foi desenvolvida pelo Battelle Columbus Laboratories, localizado em Ohio, ainda no começo dos anos 1980 com uma capacidade de 20-25 toneladas de biomassa por dia (Feldmann et al. 1988, Paisley et al. 1993 apud *INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 33D*, 2011). Em 1992, a tecnologia foi vendida para a Future Energy Resources (FERCO), para ser utilizada em um projeto em que a capacidade foi ampliada para 200 Ton/dia em uma planta localizada na estação elétrica McNeil Power Station in Burlington do departamento elétrico de Burlington, em Vermont, com apoio do departamento de energia americano. A parte da gaseificação do processo rodou estável, mas a parte de geração elétrica teve problemas. Devido a dificuldades de financiamento o projeto foi cancelado, antes de as turbinas a gás começarem a funcionar e as operações foram suspensas em 2001. A tecnologia, entretanto foi adquirida em 2009 pela Rentech que hoje tem três projetos baseados na tecnologia: Rialto Project; Port St. Joe Project; e Natchez Project (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 33D*, 2011).

Além da propriedade tecnológica propriamente dita, a experiência profissional também inspirou novas iniciativas. Mark Paisley, ex- funcionário da FERCO aproveitou o seu conhecimento para criar uma rota bastante similar à da antiga empresa para criar outra rota que carrega o nome da sua nova empresa, a Taylor Biomass. Em maio de 2012, a empresa

recebeu uma licença local do município de Montgomery, no estado de Nova York, para erguer uma planta de gaseificação de resíduos sólidos urbanos, capaz de gerar 21MW de energia elétrica (CALLIHAN 2012).

Os fracassos iniciais da conversão da biomassa em substituição ao petróleo não diminuíram as iniciativas, principalmente em função de um fator primordial: a necessidade de encontrar uma saída ainda que no longo prazo para a questão das mudanças climáticas. Esse aspecto de longo prazo dá uma dimensão mais favorável para essa terceira fase da gaseificação, frente às iniciativas que permearam todo o século XX, já que, embora sempre se considerasse a possibilidade de exaustão dos recursos petrolíferos, os momentos de crise de abastecimento de petróleo eram curtos demais para o desenvolvimento tecnológico necessário.

Por essa razão, apesar dos fracassos iniciais, as iniciativas foram se multiplicando de tal modo que é difícil levantar com acuidade a quantidade de iniciativas efetivas de gaseificação atualmente. A atualidade e a volatilidade da situação, bem como o caráter sigiloso de inovações tecnológicas são outros complicadores das tentativas de compilação das atuais iniciativas.

A crise financeira do final da década 2000, que reduziu o volume circulante de recursos e aumentou a aversão a risco dos investidores, acabou por criar outro ciclo de fracassos. Algumas plantas que reuniam grandes expectativas acabaram por falir como a alemã Choren e a americana Range Fuels. Uma vez estas empresas, já partiram ou deveriam partir do conhecimento adquirido nas primeiras iniciativas da gaseificação da biomassa, as dificuldades por que passaram estão ainda mais próximas das atuais dificuldades do uso da biomassa na criação de uma nova cadeia química sem matéria-prima fóssil.

7.5.1. O caso da Choren

Um caso exemplar dos desafios por que passam o setor é o histórico da empresa Choren. Inaugurada com a presença da primeira-ministra alemã Angela Merkel em 2008, reunindo investidores como a indústria petrolífera Shell e as indústrias automobilísticas

Volkswagen e Daimler, a Choren atraiu a atenção mundial com a sua primeira planta comercial de Biomass-to-Liquids (BTL) (SHELL, 2008).

Embora inaugurada em 2008, a empresa teve início nos anos 1990 com o nome de Umwelt und Energietechnik Freiberg GmbH (UET), desenvolvendo projetos tecnológicos de leiteo fluidizado. O desenvolvimento da tecnologia chamada de Carbo-V mudou o foco da empresa. A tecnologia consistia em um processo de produção de gás de síntese a partir de matérias-primas orgânicas não alimentares e foi desenvolvida de 1992 até 1995 (CHOREN, 2012).

Para viabilizar essa tecnologia foi criada a ENTEC, que depois veio a se chamar CRG, mudando o seu nome para Choren em 2000. O nome vinha da combinação dos elementos C (carbono), H (hidrogênio), O (oxigênio) e da sigla REN (de renovável). Para assegurar o suprimento da biomassa, outra empresa foi criada: a GHA, que depois foi novamente incorporada em uma divisão de abastecimento da CHOREN (CHOREN, 2012).

De 1998 a 2004 diversas matérias-primas foram testadas na planta-Piloto Carbo-V, e em 2001 um motor a gás de 150kW funcionou abastecido pela Carbo-V durante 600 horas demonstrando a possibilidade de geração elétrica a partir da biomassa através dessa rota. Em 2000, com a aquisição da tecnologia Fischer-Tropsch começaram os testes para produzir combustíveis para transporte. Em 2001 a Daimler entrou como parceira, sendo seguida pela Volkswagen no ano seguinte. Em 2004 testavam-se veículos das indústrias automobilísticas com os combustíveis sintéticos (CHOREN, 2012).

A parceria com a Daimler viabilizou a chamada Planta Alfa, a planta-Piloto que rodava utilizando a tecnologia Carbo-V e que chegou a produzir, em novembro de 2004, dez mil litros de biocombustível. Em 2006 a planta-Piloto foi fechada para dar lugar à Planta Beta que começara a ser construída em 2003 com o objetivo de obter escala à produção. Em 2005, a Shell adquiriu a maioria das ações da Choren levando - além de peso - à indústria, os avançados processos de Fischer-Tropsch da petroleira. A Planta Beta foi finalizada em 2008 (CHOREN, 2012).

Entretanto, o início da produção, que se daria no início de 2009, atrasou. A Shell abandonou o projeto em novembro de 2009, causando problemas de caixa para o projeto. Em

julho de 2011, quando as indústrias automobilísticas Volkswagen e Daimler abandonaram o projeto e a empresa entrou em processo de insolvência (GUZMAN, 2012).

Existem vários pontos de vista sobre as razões que levaram ao atraso da produção. Em material para a Internet, Robert Rapier, ex-assessor técnico na companhia de 2009 a 2011, levanta alguns aspectos que motivaram o atraso e a consequente dificuldade de caixa. Um deles, segundo ele, foram os padrões de segurança da Shell que modificaram a planta, especialmente depois do acidente na unidade de isômeros e sistema de *blowdown* de uma refinaria da BP em Texas City, em 2005, que causou 15 mortes (RAPIER, 2011).

Outros problemas dizem respeito ao tempo e recursos necessários para a solução de gargalos de uma tecnologia largamente utilizada para outras matérias-primas, mas que necessitava ajustar dois aspectos com relação ao gás de síntese gerado a partir da biomassa: a pureza do gás e a proporção do hidrogênio e monóxido de carbono. Os recursos necessários para resolver essa questão, segundo o autor, não podem ser subestimados, especialmente quando se trata de escala industrial (RAPIER, 2011).

Atualmente a tecnologia Carbo-V foi adquirida pela companhia Linde que oferecerá a tecnologia como licenciador e também como uma empresa de engenharia e contratação de projetos comerciais (KOOP; MORRIS, 2012).

7.5.2. O caso Range Fuels

Outra grande iniciativa de gaseificação da biomassa, A Range Fuels Inc., que conseguiu US\$ 156 milhões de créditos subsidiados da administração de George Bush, teve que encerrar as atividades no mesmo ano de 2011 (PARKER, 2011). A iniciativa, idealizada por Vinod Khosla, co-fundador da Sun Microsystems, buscava viabilizar o etanol a partir de *peletes* de madeira pela rota térmica. A planta começou a ser construída em 2007 para produzir 20 milhões de galões em 2008 e 100 milhões em 2009 (PARKER, 2011).

O relatório recente da Task 33 sobre as experiências de gaseificação nos Estados Unidos chegou a anunciar que a planta, localizada em Soperton, na Georgia, já estava parcialmente construída e um vasto conjunto de matérias-primas (como restos de madeira,

resíduos de florestais, mas também qualquer tipo de debaste e restos agrícolas) que poderia ser aproveitado na planta.

A planta foi fechada depois de problemas técnicos que limitaram a produção à metade do esperado. E o combustível viabilizado foi o metanol, que não é elegível para as metas de biocombustíveis do governo federal americano. Sendo assim, a companhia que tinha recebido, além do subsídio governamental, US\$ 160 milhões de investidores privados, não conseguiu mais garantir os seus compromissos (PARKER, 2011).

7.6. Perspectivas futuras

O atual cenário mostra que os desafios são grandes. Entretanto, como a crise dos combustíveis fósseis, ao contrário das crises do século XX, não é passageira, os esforços tendem a continuar e de forma cada vez mais intensos, na medida em que os efeitos das mudanças climáticas vão se evidenciando. Mesmo em um país que resiste muito à realidade das mudanças climáticas antropogênicas, como os Estados Unidos, ocorre um grande esforço no sentido de substituição do petróleo, desde a implantação da Lei de Segurança e Independência Energética de 2007. Desde então, inúmeras plantas e corporações têm buscado encontrar a fórmula para conversão de matérias-primas não alimentares nos combustíveis necessários para manter o estilo de vida baseado no transporte individual característico da sociedade americana.

Em maio de 2012 uma matéria da Agência Reuters (2012) fez um balanço sobre o setor de biocombustíveis nos Estados Unidos. Segundo o texto, a nova geração de plantas entrando em atividade e essas novas plantas de biocombustíveis nos EUA já não são desenhadas mais para produzir etanol do milho, mas para produzir biocombustíveis de segunda geração, com menor pegada de carbono e derivados de produtos que não competem mais com alimentos (DAILY, 2012).

A matéria publicada pela agência de informação é um indício de que a época dos grandes desafios técnicos para a conversão de material orgânico não alimentar esteja ficando para trás. Isto porque, segundo a matéria, todas as novas plantas de biocombustíveis

americanas, em 2012, já seriam de segunda geração. Embora, a maioria das empresas citadas na matéria usem rotas mistas, que combinam conversão térmica e bioquímica (o que poderia apontar para uma tendência do setor), a empresa cita uma iniciativa de gaseificação pura de resíduos sólidos urbanos (apontando para outra possível tendência do setor, que é o aproveitamento de RSU).

A matéria aponta como principal iniciativa a planta da KiOR, localizada na cidade de Columbus, Mississippi, que utilizará como rota de conversão uma tecnologia própria de craqueamento catalítico fluido (Biomass Fluid Catalytic Cracking), parecido como o que se encontra em refinarias, para converter produtos de madeira em componentes de gasolina e diesel ao preço de US\$ 25,00 por barril de óleo, aproximadamente um terço dos atuais preços de petróleo (KiOR 2012). Com a capacidade de 11 milhões de galões por ano a planta da KiOR será a maior dos Estados Unidos. A empresa já tem vendida a sua produção para empresas como Hunt Refining, FedEx Corp e Catchlight Energy, uma *joint venture* entre a Chevron e a Weyerhaeuser Co (DAILY, 2012)..

Outras plantas citadas na matéria optam pela rota bioquímica ou por matérias-primas alternativas são a Altair de Washington que produzirá combustível de aviação a partir da carmelina e a Diamond Green, que em parceria com a refinaria Valero, converterá gordura animal em diesel. Muitas dessas empresas nascentes, segundo o texto, têm atraído, inclusive, investimentos das principais empresas de petróleo como a BP, a Shell, a Chevron e a Total (DAILY, 2012).

Também tem destaque na matéria, a Butamax, uma *joint venture* da BP com a Dupont, que à época, em parceria com a empresa Gevo, apostavam em plantas para produzir biobutanol, um biocombustível com conteúdo energético maior que o etanol, a partir de celulose de milho e outros subprodutos como gramíneas, resíduos de madeiras e bagaço de cana. No depoimento para a matéria, as empresas asseguravam que a planta que converteria celulose de milho estaria funcionando em 2012 (DAILY, 2012). Em 2012, entretanto, a Butamax entrou em conflito judicial com a Gevo, numa disputa pela patente do processo (JESSEN, 2012). Essa situação evidencia tanto a volatilidade do mercado, quanto o nível de disputa com relação à corrida tecnológica de conversão de materiais residuais em um substituto do petróleo.

Com relação à conversão térmica, a disputa não é diferente. Em uma solicitação, em 2012, deste pesquisador para a Catchlight, uma parceria Weyerhaeuser e da Chevron, de maiores detalhes da rota tecnológica que combina conversões térmica, biológicas e químicas, recebeu como resposta que “as informações tecnológicas em processamento de biomassa são confidenciais”.

Por outro lado, as empresas precisam divulgar as suas operações para conseguir o capital necessário para alcançar as suas metas. Por isso muitas dessas empresas focadas no desenvolvimento de combustíveis de segunda geração estão lançando ações em bolsa. A própria matéria da Reuters reforça esse aspecto, mostrando o nível avançado deste segmento energético. Os exemplos citados são as companhias Codexis, Amyris, Solazyme e Renewable Energy Group, que já oferecem ações em bolsa. A Renewable Energy Group, que produz biodiesel de óleos vegetais e animais, além de óleos de restaurante, foi a última a lançar ações em bolsa. O CEO da companhia, Daniel Oh, ressaltou na matéria que além da redução das emissões de gases efeito estufa, um aspecto importante da empresa é a organização a cadeia desses resíduos, no momento, bastante confusa, com mais de 100 fornecedores para uma produção de 955 milhões de litros (210 milhões de galões) de capacidade. Tal fato complica a operação, uma vez que os custos de matéria-prima representam entre 85 a 90% dos custos da produção do combustível (DAILY, 2012).

Além das que já estão listadas em bolsa, a matéria afirma que existem cerca de 300 outras companhias - entre elas Genomatica, Myriant, Mascoma Corp, Coskata, Fulcrum Bioenergy, BioAmber e Elevance Renewable Sciences Inc. – que querem entrar na bolsa. A divulgação inclui a viabilidade econômica. Portanto nesse processo, as empresas salientam os baixos custos operacionais que alcançaram, viabilizando o negócio, a fim de atrair os investidores. A Mascoma, que tem recursos da Valero Energy, da Marathon Oil Corp e da General Motors, tem trabalhado para assegurar custos de operação na faixa de US\$ 0,39 o litro (US\$1.77 por galão) de etanol produzido a partir de madeira. A Coskata, respaldada pela empresa petrolífera francesa Total, espera tornar comercial o processo piloto da sua planta de Alabama que produz etanol de madeira a um custo de US\$ 0,33 o litro (US\$ 1,5 o galão).

A companhia citada na matéria que aposta em uma conversão térmica pura, é a Enerkem, que aposta na conversão de resíduos sólidos urbanos em etanol. A empresa assegura a um preço de US\$ 0,33 a US\$ 0,37 o litro (US\$ 1,5 a US\$ 1,7 por galão) e já preparou o processo para lançar ações em bolsa. A empresa planeja colocar US\$ 138 milhões no

mercado, mas o lançamento das ações foi adiado em função de um temor do mercado de que houvesse gargalos da matéria-prima com o aumento da concorrência (DAILY, 2012). Esse temor mostra que a conversão energética dos resíduos sólidos urbanos no mundo já é uma prática bastante avançada diferentemente do Brasil.

Apesar de mostrar os números do pujante mercado, a matéria ressalta aos investidores a necessidade de cuidado com o excesso de expectativas e afirma que os atores do setor precisam ser mais realistas e, também, que uma nova onda de decepções como a da Range Fuels pode levar a revisões das diretrizes das metas estabelecidas pela Agência de Proteção Ambiental (EPA) e pela Lei de Segurança e Independência Energética de 2007 que é a base dessa pujança (DAILY, 2012).

A despeito das inúmeras iniciativas e tecnologias que têm aparecido nestes últimos anos, duas perspectivas se mostram bastante favoráveis se analisarmos um horizonte de longo prazo. Uma diz respeito ao fluxo de matérias-primas: se a biomassa convencional tem o seu ciclo de safras, o Resíduo Sólido Urbano é produzido com um fluxo constante e possui uma logística bastante estabelecida. A outra diz respeito à tecnologia de plasma que altera as propriedades dos materiais, reduzindo limitações dos gaseificadores convencionais.

7.6.1. Suprimento de matéria-prima e resíduos sólidos urbanos

As experiências mostram que o fluxo de matérias-primas é essencial para assegurar o sucesso de biorrefinarias. De acordo com Gerosa (2012) alguns dos aspectos negativos do uso da biomassa em plantas de gaseificação estão relacionados à logística e ao abastecimento de matéria-prima (localização não centralizada, sazonalidade da produção, alto custo de transporte e exigência de estocagem). O estudo analisa biomassas de resíduos agrícolas, que, em função da sua grande quantidade e homogeneidade de materiais, são até hoje as fontes viáveis de biomassa. Os resíduos urbanos, embora não tenham as mesmas propriedades dos resíduos agrícolas têm, em função da questão da falta de espaço nas cidades, de recursos naturais e dos seus grandes volumes, um fluxo contínuo de material. A história nos mostra que aspectos como a constância e economicidade do abastecimento, bem como a

homogeneização do material têm sido aspectos essenciais para o sucesso da gaseificação desde o seu início.

Atualmente, o Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo IPT, tem um projeto de Gaseificação da Biomassa, utilizando como matéria-prima, bagaço e palha residuais do setor sucroalcooleiro. No seminário de Gaseificação promovido pela FAPESP anunciou-se que a construção da unidade Piloto de 500kg/h deverá durar três anos, com dois anos subseqüentes de operação e desenvolvimento tecnológico (LANDGRAF, 2012). O objetivo do projeto é obter as informações necessárias para uma planta em escala industrial. Na ocasião, entretanto, a questão mais frequentemente levantada com relação ao projeto foi a competição com os usos atuais da matéria-prima, uma vez que a prática da queima desse produto já é altamente disseminada (COELHO, 2011). Mais do que uma defesa técnica, o líder do projeto dedicou a maior parte da sua apresentação com projeção da disponibilidade da matéria-prima escolhida para o projeto (LANDGRAF 2012).

Esse é um aspecto que está no centro das discussões das biorrefinarias modernas. O fluxo de materiais e a economicidade das matérias-primas aumentam as perspectiva para o uso de resíduos sólidos urbanos (RSU) como matéria-prima para as biorrefinarias, isto porque, no atual mundo industrializado, populoso e urbanizado, os resíduos sólidos urbanos passaram a ter um fluxo significativo e se tornaram um problema para as grandes concentrações urbanas com poucos espaços disponíveis para o seu aterramento. A questão dos resíduos entra em pauta justamente em um momento em que o mundo também se preocupa com a quantidade de recursos naturais para atender às demandas de consumo no padrão atual. Neste caso, o aterramento de recursos passa também a ser visto como um desperdício de materiais e energia. Com relação à competição com a incineração, a gaseificação tem algumas vantagens como a possibilidade de ter como produtos finais combustíveis ou mesmo produtos químicos com maior valor agregado.

Atualmente a opção de recuperação energética de resíduos baseia-se principalmente na combustão dos resíduos (*Waste to Energy*) que oferece apenas calor e energia elétrica. Embora seja altamente disseminada, especialmente nos países desenvolvidos, a rota da incineração ainda encontra alguns desafios técnicos, especialmente quando a composição dos resíduos tem alto teor de umidade (SANTOS, 2011). Além disso, há grande resistência do público onde essa prática não é disseminada (FRATE, 2011). Nesse aspecto, a gaseificação pode ter vantagens competitivas frente aos incineradores.

Para uma gaseificação eficiente, entretanto, também há alguns desafios entre os quais a homogeneização dos combustíveis, o que dificulta a aplicação imediata de resíduos sólidos no processo de gaseificação sendo necessário um pré-tratamento destes. Entre as formas de pré-tratamento está a transformação do RSU em *refuse-derived fuel* RDF (MORRIS; WALDHEIM, 1998).

Uma vez superadas estas questões, os resíduos sólidos urbanos, podem oferecer à cadeia de gaseificação uma matéria-prima de custos negativos, uma vez que o processo oferece uma excelente oportunidade para criar uma cadeia química a partir de resíduos sólidos, muito embora essa realidade tenha a tendência de se alterar ao longo do tempo, uma vez que os RSU têm ganhado valor. Uma evidência disso é que na análise que a Reuters fez sobre biorrefinarias, uma das razões da prorrogação do lançamento em bolsa das ações da Enerkem, foi a insegurança dos investidores decorrente principalmente da crença de que o valor da matéria-prima (RSU) deve aumentar com a chegada de concorrentes (DAILY, 2012).

Quanto à viabilidade técnica, a gaseificação se mostra plenamente adequada para o tratamento apropriado dos resíduos sólidos, visto que tem sido também estudada como uma solução térmica para resíduos perigosos com grande atenção, que por sua vez, que transforma resíduos de valor negativo em produtos químicos de alto valor agregado (WETHEROLD et al. 2000) Os múltiplos usos do gás de síntese e a disponibilidade de tecnologias de limpeza de gases comuns à refinaria de petróleo fazem com que a gaseificação já seja também utilizada amplamente como recuperação secundária de resíduos de refinaria.

Na página de internet da Task 42 há um projeto não citado nas listas anteriores que demonstra um grande entusiasmo nessa fonte de recurso para a gaseificação e geração de combustíveis líquidos: a planta da British Airways para desenvolvimento de combustíveis de aviação (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY* 2012). A planta será localizada no leste de Londres e usará resíduos sólidos urbanos para produzir gás de síntese. O gás então passará pelo processo Fischer-Tropsch, para gerar combustível de aviação e nafta. O projeto contemplará um grande espectro de materiais para ser usados como matéria-prima: madeira, arbustos, gramíneas e resíduos agrícolas, assim como matérias-primas de origem fóssil como carvão e resíduos de petróleo. A planta converterá 500 mil toneladas de resíduos municipais em 16 milhões de galões de combustível de aviação, com ainda uma produção de 20 MW de excesso de eletricidade (aproveitamento do excedente de gás) para ser exportado para a rede.

O único resíduo sólido gerado será uma escória vitrificada que poderá ser usado na construção civil.

Além da British, outras empresas buscam aproveitar o custo social negativo dos resíduos sólidos urbanos para gerar biocombustíveis e outros químicos. Entre as mais consolidadas, está a canadense Enerkem que foi fundada em 2000 e possui e opera biorrefinarias avançadas baseadas na sua tecnologia térmica baseada em um gaseificador de leito fluidizado borbulhante (Bubbling fluidized-bed gasifier). A empresa controla os seus projetos inteiramente não dependendo de terceiros ou empresas de engenharia. A empresa que se mantém desde a sua fundação com os mesmos proprietários é uma exceção no mercado. A empresa opera duas plantas no Canadá: uma planta Piloto em Sherbrooke e uma planta comercial em Westbury, ambas em Quebec. Construirá uma nova planta em Edmonton, no estado de Alberta, e, para tanto, recebeu \$ 23 milhões do governo estadual. O esquema da empresa está ilustrado na figura 5.

Figura 7.3 - Figura esquemática do processo da Enerkem (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 33 D*, 2011)

Outro projeto similar está sendo desenvolvido no Mississippi com recursos de US\$ 50 milhões do Departamento de Energia e mais US\$ 80 milhões do Departamento de Agricultura americanos (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 33 D*, 2011).

Para analisar as perspectivas dessas rotas tecnológicas, a RTI International (2012), uma organização não governamental que realiza estudos técnicos para governos e instituições, examinou detalhadamente os dois tipos avançados de conversão tecnológica para resíduos sólidos urbanos, a gaseificação e a pirólise. Segundo o estudo, há 41 plantas nos EUA em funcionamento em maior ou menor escala, mas a viabilização econômica deve ocorrer entre cinco e dez anos. A gaseificação se mostrou viável para resíduos sólidos, enquanto a pirólise se mostrou apropriada para resíduos plásticos não recicláveis. Quanto aos impactos ambientais, as rotas tecnológicas demonstraram grande ganho se comparadas com a destinação em aterros. A gaseificação economiza entre 6.5–13 milhões Btu em energia e evita a emissão de 0.3–0.6 toneladas de carbono equivalente por tonelada de RSU, enquanto a pirólise economiza entre 1.8–3.6 milhões de Btu e evita 0.15–0.25 toneladas de carbono equivalente.

O relatório sueco da Task 33 (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 33B*, 2008, p. 27) aponta para a grande perspectiva da gaseificação de resíduos sólidos urbanos mesmo para a geração de eletricidade em função do maior rendimento dessa tecnologia frente às plantas de incineração. Outros benefícios são os resíduos de processos mais estáveis e um sistema de limpeza de gases e um menor volume de gases a ser tratado. No sistema ordinário de combustão, o rendimento é de aproximadamente 23%, uma vez que há um controle de calor para evitar a corrosão dos superaquecedores. O processo de limpeza dos gases antes da gaseificação pode melhorar o rendimento de uma turbina a vapor para 28%. Se acoplado a uma turbina de gás, os resultados podem alcançar 35-40%. O relatório americano (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 33D*, 2011, p. 18) tem um parecer ainda mais favorável, considerando que o processo de gaseificação para uso de eletricidade pode chegar a 45%, considerando o desempenho termodinâmico da conversão do conteúdo orgânico em gás combustível é de 80-85%. O relatório afirma que, se os gases forem convertidos para hidrogênio para células combustíveis (*fuel cells*), a eficiência total da conversão pode chegar a 55%, indicando uma rota tecnológica possível. Aliadas à eficiência, o relatório considera significativas as vantagens ambientais que contemplam o volume a ser processado, e a temperatura inferior do tratamento dos gases, retenção de metais e retirada de resíduos como cinzas e o fato de que o gás pode ser limpo de gases ácidos antes da combustão, causando menor impacto ambiental.

A oportunidade está atraindo grandes grupos da área de incineração, a forma habitual de recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos nos países desenvolvidos. A líder mundial de tecnologias de recuperação energética de resíduos, a Covanta anunciou recentemente o sucesso nos testes de sua tecnologia de gaseificação e colocou no mercado uma nova solução de gaseificação que, segundo a empresa, viabiliza uma redução de emissões e melhoras na eficiência energética, frente às soluções de incineração anteriormente implantadas pela empresa.

7.6.2. Novas tecnologias e o uso de plasma

Em virtude da grande oportunidade proporcionada pelos resíduos sólidos urbanos (RSU), várias empresas passaram a oferecer soluções de gaseificação com plasma, seja esta através de tocha ou arco de plasma. A vantagem é que esta solução não só gera o gás de síntese, mas também converte a parte inorgânica em um material vitrificado com grande potencial para ser matéria-prima do setor de construção civil (LEAL-QUIRÓS, 2004). Segundo Burani et al. (2003), “um gerador de plasma (tocha de plasma) é um dispositivo que transforma energia elétrica em calor transportado por um gás”. Esse gás é resultado de um aquecimento a temperaturas elevadas (3.000°C), condição em que há mudanças significativas em suas propriedades. Por meio da tocha de plasma, o conversor de resíduos a plasma (CRP) produz eletricamente um campo de energia radiante de altíssima intensidade que, aplicado sobre os resíduos, promove a dissociação das ligações moleculares existentes nos compostos sólidos, líquidos, sejam eles perigosos ou não, orgânicos ou inorgânicos. Segundo Medeiros (2011), “num meio como este qualquer corpo inserido sofrerá as mais diversas interações com estas espécies como colisões, reações químicas, desgaste químico, etc. Essa variedade de efeitos possíveis é o motivo da grande versatilidade de técnicas que fazem uso do plasma como fonte energética. De acordo com as condições de geração, o plasma atinge temperaturas extremamente elevadas que podem variar de $5.000\text{-}50.000^{\circ}\text{C}$ ”. As altas temperaturas quebram as ligações moleculares, inclusive as mais estáveis, dioxinas e furanos, recombina-as em moléculas mais simples.

O plasma é o estado ionizado da matéria. É um gás quase neutro, mas composto das partículas ionizadas. É formado quando as matérias ordinárias são aquecidas acima de 5.000°C e transformam-se em gases ionizados que são profundamente influenciados pelas interações elétricas com os campos magnéticos (LEAL-QUIRÓS, 2004).

O plasma produzido por uma carga elétrica de corrente contínua é o precursor da moderna Tocha de Plasma que atualmente pode chegar a 10 MW de potência. A Westinghouse foi a primeira empresa a oferecer soluções de plasma para gaseificação de resíduos sólidos urbanos e, para tanto, conduziu diversas experiências de gaseificação e vitrificação de resíduos sólidos urbanos e outros resíduos no reator de plasma (LEAL-QUIRÓS, 2004). Um esquema simplificado da gaseificação do Plasma pode ser visto na figura 6.

Figura 7.4 - Esquema simplificado da gaseificação do Plasma (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 33D*, 2011)

As experiências foram conduzidas de forma que o combustível gerasse basicamente gás de síntese ($\text{CO} + \text{H}_2$). Os componentes inorgânicos, convertidos em escória fundida, estavam de acordo com as características de lixiviados necessárias, segundo a agência ambiental americana, para serem usados como matérias-primas vitrificadas. Quanto os níveis

de dioxinas, verificou-se uma quantidade 100 vezes (e.g., $< 0.01 \text{ ng/nm}^3$) menores do que uma planta de incineração. Quanto à eficiência, a utilização do gás gerado em uma turbina em um ciclo combinado gerou energia com muito mais eficiência que as incineradoras (40% de energia térmica, contra 20% médios de eficiência de uma planta incineradora a vapor). Todas essas variáveis tornaram a rota tecnológica de gaseificação extremamente atraente para a conversão energética de resíduos sólidos urbanos (LEAL-QUIRÓS, 2004).

Atualmente existem diversas empresas que, oferecem soluções de gaseificação por plasma para resíduos sólidos urbanos. A empresa mais consolidada na área é a Alter NRG uma subsidiária da Westinghouse Plasma Corporation (WPC), que conta com duas usinas operando comercialmente no Japão. Construídas em 2002, estas são operadas em uma parceria da Westinghouse com a Hitachi. A primeira, em Utashinai, trata 200 toneladas de resíduos, compostos na sua maioria, de retalhos de partes automobilísticas, por dia. Já a planta de Mihama and Mikdata, também uma parceria das duas empresas trata 24 toneladas por dia de resíduos sólidos urbanos e quatro toneladas por dia de lodo de tratamento de esgotos e a energia gerada é usada na própria estação de tratamento de esgotos (NETL, 2012). A companhia defende que uma das principais vantagens do uso do plasma na gaseificação é que a composição de gás de síntese pode ser adequada à necessidade dos clientes e do uso final. A flexibilidade à matéria-prima utilizada também é uma vantagem, uma vez que a simples movimentação do direcionamento das tochas de plasma pode manter as temperaturas de reação adequadas às características específicas da matéria a ser gaseificada (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 33 D, 2011).

Outra vantagem da tecnologia é que, ao contrário das grandes plantas de incineração de RSU que necessitam grande escala para se viabilizar, a gaseificação por plasma pode ser adaptada para soluções localizadas. Há empresas especializadas inclusive em soluções de pequena escala como a canadense Pyrogenesis que apresenta uma solução chamada Plasma Resource Recovery System que é utilizada principalmente para a conversão de resíduos nos porta-aviões da marinha americana e em outros navios de grande porte (CARABIN; HOLCROFT, 2005).

É evidente que a questão dos custos ainda é um gargalo, fenômeno comum a todas as inovações tecnológicas como discutem Abernathy e Utterback (1978). Segundo os autores, existem duas fases da inovação. A primeira prioriza o desempenho do produto frente ao custo. Essa é chamada de inovação radical e é conduzida por iniciativas de empresas menores e mais

flexíveis para se adaptar à nova forma de produção. Em um segundo momento, a inovação passa a ser evolutiva e centrada na melhoria dos processos e evolução dos custos. A inovação tecnológica da gaseificação por plasma parece apresentando um salto de qualidade e, com isso, os preços tendem a diminuir.

8. PERSPECTIVAS BRASILEIRAS

No Brasil, a gaseificação, além dos desafios encontrados internacionalmente, encontra dois fatos adicionais. Primeiro, os esforços maiores voltados à bioenergia se concentram no setor sucroalcooleiro. Em segundo lugar, mesmo no setor, a opção prioritária na busca por combustíveis de segunda geração parecem se concentrar na bioquímica. Na rota térmica destacam-se as pesquisas da Universidade de Itajuba (MG), a Petrobras/Cenpes (RJ) e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (SP) e do Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) em Campinas (SP). Este último criou uma plataforma chamada “biorrefinaria virtual”, cujos objetivos são: otimizar os conceitos e os processos envolvidos numa biorrefinaria; avaliar diferentes alternativas de biorrefinaria no que se refere a sua sustentabilidade (econômica, ambiental e social); e avaliar o estágio de desenvolvimento de novas tecnologias incluídas na análise (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2010).

A concentração das pesquisas bioenergéticas no setor sucroalcooleiro deve-se principalmente à grande escala da produção sucroalcooleira aliada à vocação energética desse setor. Isso porque, a indústria sucroalcooleira apresentou ao longo do tempo um enorme ganho de produtividade nos seus processos e melhorou as formas de aproveitamento dos seus resíduos, especialmente na recuperação energética do bagaço da cana (CONAB, 2011). Na última década, inclusive, a energia gerada a partir da queima do bagaço, deixou de abastecer energeticamente apenas o processo produtivo de açúcar e álcool e passou também a exportar energia elétrica para o sistema.

Nesse processo, o bagaço que era um subproduto gerado em grande quantidade, passou a ser uma matéria-prima essencial para o desempenho econômico das usinas. A consolidação dessa realidade reduziu a disponibilidade do subproduto no qual são empenhados grandes esforços para alcançar o combustível de segunda geração (COELHO, 2011). Nesse sentido, as

vantagens desse subproduto como objeto prioritário de pesquisa (grande escala de produção, homogeneidade da composição, vocação energética do setor) podem encontrar um gargalo na disponibilidade do produto, uma vez que a porção lignocelulósica da cana (principalmente o bagaço) já tem um aproveitamento energético consolidado que competiria com as biorrefinarias.

Assim como no âmbito internacional, uma grande possibilidade é o aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos que no Brasil, mais do que nos países desenvolvidos, ainda constitui num grande problema. Segundo os últimos relatórios Panorama de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil 2011, publicado pela Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), a quantidade de resíduos sólidos urbanos não para de crescer e a sua destinação torna-se cada vez mais problemática, especialmente em grandes concentrações urbanas sem local disponível para aterros. Depois de mais de 20 anos de discussão, foi instituída em 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos visando reverter a problemática realidade brasileira. Segundo o relatório da ABRELPE de 2011, 47% das cidades sequer dispõem os seus resíduos sólidos de maneira adequada. Utilizam lixões que causam contaminação em seres humanos, animais, lençóis freáticos e corpos d'água (ABRELPE 2011; 2012).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece hierarquização no gerenciamento e na gestão de resíduos sólidos e a priorização das ações na seguinte ordem: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final. Estabelece também o conceito de rejeito como: “resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada” (BRASIL, 2010). No seu artigo 54, a Política estabelece um prazo de quatro anos para a “disposição final ambientalmente adequada dos *rejeitos* (grifo do autor)”. Isto quer dizer que, em 2014, será proibido o aterramento de qualquer material que ainda possa estar sujeito a tratamento e recuperação. A gaseificação como uma forma de tratamento e recuperação energética poderá ser uma alternativa para o cumprimento da legislação que, ainda que possa ter os seus prazos alterados, já indicou suas diretrizes.

Embora a Política, ao restringir o aterramento a rejeitos (resíduos de alguma forma tratados), seja bastante favorável à implantação de plantas de gaseificação, o tratamento térmico ainda encontra bastante resistência no Brasil. Parte dessa resistência deve-se a uma

imagem herdada dos antigos incineradores sem controle ambiental (FRATE 2011). Os incineradores modernos são compostos de equipamentos de controle que tornam as suas emissões menores do que as do próprio aterro (SILVA 2011). A solução do aterro para resíduo não tratado já é ultrapassada no restante do mundo, mas é recorrente no Brasil em função dos baixos custos de aterramento. Em vários países europeus, para evitar essa solução já se criou um imposto para aterros, praticamente erradicando essa prática de desperdícios de recursos ainda valiosos (SAGER, 2012).

Uma grande vantagem da gaseificação, frente à incineração, além da eficiência e flexibilidade do produto, é a sua maior aceitação pelo público, ainda mais se vier associada à alta tecnologia representada pelo plasma. Um exemplo disso é que em uma audiência pública realizada em junho de 2012 no município de Hortolândia, no Estado de São Paulo, a solução do uso de plasma foi aprovada pela população diante das possibilidades de compostagem e incineração, mostrando que esta rota tecnológica pode ter potencial para reverter a resistência popular aos tratamentos térmicos dos resíduos que antes se limitavam à incineração (SOARES 2012).

9. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Desde o seu surgimento, a tecnologia da gaseificação passou claramente por três fases distintas:

A primeira fase foi voltada para a geração do gás de iluminação, que foi uma revolução no modo de vida das grandes metrópoles, que passaram a ter vida noturna, impactando, portanto, na intensa atividade cultural do século XIX. Durante quase todo o século, o *town gas*, como era conhecido o gás obtido do carvão foi sinal de riqueza e urbanidade nas grandes metrópoles. Tal hegemonia começou a sucumbir no final do século com novas inovações tecnológicas. Neste período a eletricidade se viabilizou, mostrou suas várias aplicações que conciliava além de uma iluminação mais eficiente e fácil de expandir com outras aplicações como a força motriz. Com isso, muito mais competitiva na iluminação, fez com que as companhias de gás migrassem necessariamente para a cocção e aquecimento. Situação que durou até que o gás do carvão fosse substituído pelo gás natural ou petróleo.

O petróleo que nascera como matéria-prima para o querosene iluminante, já nos primórdios do século XX se consolidou como principal energético mundial. Mais do que isso, o século passado se caracterizou por basear todo o modo de vida no petróleo. Isso porque só um combustível com as suas características que vão desde a sua densidade energética como a sua facilidade logística poderia viabilizar uma sociedade com as características produtivas e de consumo que se formou ao longo daquele século. Crises circunstanciais no abastecimento do combustível não apenas causaram estragos econômicos, mas também fomentavam iniciativas para substituir o chamado “ouro negro”. Nessas iniciativas destacava-se a gaseificação que, em função da descoberta síntese de Fischer-Tropsch, na década de 1920, viabilizava a substituição da cadeia petroquímica e ganhava novas perspectivas. Tais iniciativas, entretanto, arrefeciam assim que o abastecimento voltava ao normal, impedindo uma busca de longo prazo para a substituição do combustível. As tentativas esporádicas de substituir o petróleo durante o século XX é o que caracteriza a segunda fase da gaseificação.

O século XXI iniciou-se com evidências cada vez maiores de que o modo de vida altamente dependente dos combustíveis fósseis aumentava consideravelmente o carbono e a quantidade de energia na atmosfera, com o chamado efeito estufa que causava mudanças climáticas. A constatação do fenômeno e suas possíveis consequências mudou a perspectiva

da busca de um substituto para o petróleo para longo prazo. Não se trata mais de uma busca contingencial de um substituto em função de crise de abastecimento momentâneo ou de uma especulação do momento em que a oferta do recurso finito começará a declinar. A mitigação das mudanças climáticas adiantou a urgência de substituição – ainda que parcial - do petróleo para evitar uma situação climática arriscada no final do século. Nesse sentido novas formas de aproveitamento energético da biomassa têm sido buscadas. O foco principal é desenvolver biocombustíveis e biomateriais a partir de matérias-primas que não venham a competir com a produção de alimentos. São os chamados biocombustíveis de segunda geração. A gaseificação da biomassa, combinada com a síntese de Fischer-Tropsch é uma das possibilidades mais cogitadas. Na sua terceira fase, portanto, a gaseificação promete um papel mais proeminente. No final, do século XX, inclusive, surgiu, o conceito de biorrefinaria para contemplar essa substituição da cadeia petroquímica por produtos derivados da biomassa. Desde a última década do século passado, várias experiências ocorreram, mas muitas sucumbiram, mostrando que o desafio da combinação da gaseificação da biomassa com a síntese de Fischer-Tropsch em escala comercial não é facilmente alcançável.

É nesse contexto que se inseriu o presente estudo, buscando entender como uma tecnologia já com uma história significativa não consegue se viabilizar para alcançar o objetivo de substituir o petróleo e evitar a emissão de gases efeito estufa. Um dos aspectos levantados é que as necessidades de escala e economia da situação atual não permitem a disseminação da tecnologia aplicada à biomassa de forma competitiva, especialmente no que diz respeito ao fluxo de matérias-primas. Gerosa (2012) aponta que um dos aspectos negativos do uso da biomassa em plantas de gaseificação são ligadas à logística e ao abastecimento de matéria-prima como localização não centralizada, sazonalidade da produção, alto custo de transporte e exigência de estocagem. Deve-se considerar, entretanto, que o estudo analisa biomassas de resíduos agrícolas, que, em função da sua grande quantidade e homogeneidade de materiais, são hoje as fontes mais viáveis. Neste caso, tal fluxo depende de safras, capacidade de estocagem, entre outros aspectos. Já no que diz respeito à gaseificação do carvão mineral esses aspectos seriam irrelevantes uma vez que tal matéria-prima é de fácil estocagem e possui uma homogeneidade mais adequada aos gaseificadores.

Muito embora haja recentemente um crescimento no número de plantas gaseificadoras de carvão mineral em países que combinam grande crescimento de demanda com grandes

jazidas de carvão mineral, como China, Índia e África do Sul, esse crescimento é bastante localizado e isso não se dá de forma uniforme no restante dos países. Esse crescimento em países específicos não é novidade. No Século XX, em contextos específicos, a gaseificação do carvão mineral substituiu o petróleo, como foi no caso da Alemanha na Segunda Guerra ou na África do Sul do Apartheid. Mas naquele contexto histórico, no longo prazo, o petróleo sempre retomava a sua vantagem competitiva e a sua hegemonia. Atualmente, o principal interesse, manifestado de forma distribuída no mundo, diz respeito à gaseificação da biomassa. Isso se dá por uma mudança de patamar histórico em que a variável climática se tornou relevante e não por um contexto específico de uma região ou de um momento de crise.

Foi preciso entrar um novo contexto histórico para que as atenções se voltassem à outra forma de gaseificação: da biomassa. A perspectiva das mudanças climáticas é um elemento global, de interesse mundial e, principalmente, de longo prazo. Não é uma crise cíclica, nem situada em um país específico. O esforço de inúmeros atores, a troca de informação e o acúmulo de experiências criam uma boa perspectiva para a gaseificação da biomassa no futuro. Esse trabalho também contribuiu para a sistematização dessas experiências. 123 experiências foram listadas e sistematizadas de diferentes documentos. No futuro, um aprofundamento do conhecimento do estágio dessas iniciativas poderia complementar o presente estudo. Na atualidade, entretanto, ainda é muito cedo para evidenciar uma rota tecnológica, um modelo de negócio, ou uma matéria-prima que caracterizem uma rota hegemônica para servir como referência para as outras plantas.

Embora a experiência histórica até o presente momento não evidencie uma tendência específica com relação às tecnologias específicas de gaseificação, as poucas experiências têm mostrado que um dos grandes desafios da gaseificação da biomassa diz respeito ao fluxo da matéria-prima. Nesse sentido, entretanto, ganham competitividade como matérias-primas os resíduos sólidos urbanos, uma vez que estes já têm uma logística bastante estruturada e um volume de geração significativo. Neste caso, o desafio passa a ser a pouca homogeneidade do material, mas as atuais políticas de separação e reciclagem de materiais tendem a deixar a composição destes mais homogênea. Além disso, a utilização desse material ajudaria a resolver uma questão bastante importante para as metrópoles que sofrem com questão da falta de espaço para dispor este material, além do desperdício com a prática de aterramento.

Deste modo, se, por meio dos estudos aqui levantados, não se tem uma tendência tecnológica clara com relação ao desenvolvimento da gaseificação, alguns aspectos tornaram-

se evidentes: 1) o desenvolvimento tecnológico da gaseificação só terá sentido no contexto das mudanças climáticas, portanto voltada para o aproveitamento da biomassa; 2) a experiência histórica recente mostra que o fluxo de matéria-prima é essencial para a economicidade das plantas de gaseificação e, nesse sentido, as grandes fontes geradoras de resíduos podem oferecer uma boa perspectiva. Por essa razão, para estudos futuros, sugere-se também o aprofundamento dos estudos da viabilidade comercial da conversão térmica da biomassa dos resíduos sólidos urbanos em combustíveis pode contribuir não apenas para dar subsídios para tomadores de decisão nesta área, mas também ajudando a contextualizar e mostrar os caminhos tomados pela terceira fase da gaseificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERNATHY, W., AND UTTERBACK, J. M. Patterns of Industrial Innovation. **Technology Review**, v.80, n.7, p. 40–47, 1978.

ABREU L. Economia verde como solução para o futuro, **Olhar para o Futuro** edição 359, 2011 disponível em:
<http://www.olharvirtual.ufrj.br/2010/index.php?id_edicao=359&codigo=7>. Acesso em: 10 nov. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS
Panorama de resíduos sólidos de 2010, São Paulo: ABRELPE , 2011

_____ **Panorama de resíduos sólidos de 2011**, São Paulo: ABRELPE ,2012
BACOVSKY D., DALLOS M., WÖRGETTER M., **Status of 2nd Generation Biofuels Demonstration Facilities in June 2010** International Energy Agency Bioenergy Task 39 Disponível em:
<<http://www.task39.org/LinkClick.aspx?fileticket=PBlquceJcEQ%3d&tabid=4426&language=en-US>>. Acesso em : 13 mar.2012.

BACOVSKY D., LUDWICZEK, N., OGNISSANTO, M.WÖRGETTER, M. **Status of Advanced Biofuels Demonstration Facilities in 2012**, International Energy Agency Bioenergy Task 39, 18 de março de 2013 Disponível em:
<http://demoplants.bioenergy2020.eu/files/Demoplants_Report_Final.pdf> Acesso em : 07 abr.2012.

BELGIORNO, V., DE FEO, G., DELLA ROCCA, C., NAPOLI, R. M. A., Energy from gasification of solid wastes. **Waste management**, New York, N.Y, v. 23(1), p. 1-15. 2003.

BIOREFINERY EUROVIEW; BIOPOL **Joint deliverable report Biorefinery Euroview & Biopol**, 2009 Disponível em
:<http://cordis.europa.eu/documents/documentlibrary/123655621EN6.pdf>. Acesso em: 10 nov.2012.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em :<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm> Acesso em: 03 mar.2012

BREAULT R.W. Gasification Processes Old and New: A Basic Review of the Major **Technologies Energies**, v. 3, p. 216-240, 2010

BRIDGWATER, A. V. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. **Chemical Engineering Journal**, v. 91, p. 87–102, 2003

BURANI G. F. , UDAETA M. E. M., SILVA F. A. T., GALVÃO L. C. R. **Recurso Energético a Partir do Reuso da Água para Produção de Energia Elétrica**, trabalho apresentado no CLAGTEE, 2003. Disponível em: <http://www.seeds.usp.br/pir/arquivos/CLAGTEE2003_GeraldoBurani1.pdf> Acesso em: 04 maio 2012.

CALLIHAN J. C. **Montgomery NY: Green Energy gets “Green Light” at Town of Montgomery Board** meeting press release 12 de maio de 2012. Disponível em http://www.taylorbiomassenergy.com/tbe_pressrelease_120510.pdf> . acesso em: 15 set. 2012.

CARABIN P., HOLCROFT G. **Plasma resource recovery technology –Converting waste to energy and valuable products** apresentado no 13th North American Waste to Energy Conference, Orlando, Florida EUA, maio de 2005 Disponível em :<<http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/nawtec/abstract/nawtec13/nawtec13-3155.pdf>> Acesso em: 10 out. 2012.

CARDOSO M.T. Mudanças Climáticas: a batalha da informação in **Ciência Hoje** v. 293 p. 70, junho de 2012

CERQUEIRA LEITE, R. C. D., VERDE LEAL, M. R. L., BARBOSA CORTEZ, L. A., GRIFFIN, W. M., & GAYA SCANDIFFIO, M. I. (2009). Can Brazil replace 5% of the 2025 gasoline world demand with ethanol? **Energy**, v. 34(5), p. 655-661 2009

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Química verde no Brasil: 2010-2030**. Brasília, DF , 2010 Disponível em :<<http://www.cgee.org.br/atividades/redirect.php?idProduto=6528>> Acesso em: 23 nov. 2012.

CHEMREC, **Perfectly clean BioDME flowing steadily**, 10 de maio de 2012. Disponível em: <<http://www.chemrec.se/Report-from-the-Bio-DME-plant-in-Pite%C3%A5.aspx>> Acesso em: 13 jun. 2012.

CHOREN **Story of the company** : milestones to becoming a technology leader in synthesis gas production. Disponível em: <<http://www.choren.com/en/company/history/>> Acesso em : 10 abril 2012

COELHO S. T. **Biomassa como fonte de energia**. Aulas ministradas na disciplina no Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, 2011.

COLLINGS J. **Mind over matter**: the Sasol story: a half-century of technological innovation. Sasol, 2002

CONAB A **Geração termoeétrica com a queima do bagaço de cana-de-açúcar no Brasil**, 2011. Disponível em :<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_05_05_15_45_40_geracao_termo_baixa_res..pdf> Acesso em: 04 ago. 2012

CORRÊA M. L. Contribuição para uma história da regulamentação do setor de energia elétrica no Brasil: o Código de Águas de 1934 e o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica in Política e Sociedade **Revista de Sociologia Política** v. 4, n. 6, 2005

COSTA R. C., PRATES C. P.T., O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado in **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 21, p. 5-30, mar, 2005

COSTA S. S. F. Visões da modernidade: análise de algumas representações artísticas sobre as transformações de São Paulo no início do século XX in **Revista Risco** v. 10 segundo semestre de 2009

CRUZ A. A., CUNHA R. F., ALMEIDA S. M. L. DE., OLIVEIRA S. P. A.. **Petróleo: Herói ou Vilão? Um enigma para o novo Milênio** UFRJ. Disponível em: <http://www.ccmn.ufrj.br/curso/trabalhos/pdf/quimicatrabalhos/quimica_meioambiente/quimicaeamb5.pdf> Acesso em: 10 jun. 2012

CYTRYNOWICZ R. **Guerra sem guerra**: a mobilização e o cotidiano em São Paulo durante a segunda guerra mundial. Geração Editorial, 2002

DAILY M. New facilities spotlight next-generation biofuels In: **Reuters** 21 de maio de 2012. Disponível em : < <http://www.reuters.com/article/2012/05/21/uk-biofuels-plants-idUSLNE84K00320120521>> Acesso em: 21 maio 2012.

DEPARTMENT OF ENERGY. National Energy Technology Laboratory (NETL). **Gasification, worldwide use and acceptance**. 2007

_____ **Biofuels, biopower and bioproducts: integrated biorefineries**. 2010 Disponível em: <http://www.eere.energy.gov/biomass/integrated_biorefineries.html> Acesso em: 08 maio 2012.

DEPARTMENT OF ENERGY. **Recent Changes** Disponível em:

<<http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/worlddatabase/recentchanges.html>> Acesso em: 10 abril 2012.

Plasma gasification : gasifipedia gasification in detail - types of gasifiers - gasifiers for special applications. Disponível em

:<http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/gasifipedia/4-gasifiers/4-1-4-1a_westinghouse.html> Acesso em: 10 ago.2012

DINJIUS E., IKFT's (Institut für Katalyseforschung und Technologie) experience in the development of pyrolysis Technologies. IN: SIMPÓSIO DE GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA, 2012, São Paulo. **Anais**. São Paulo: FAPESP, 2012.

DUARTE A. **Biomass-to-liquids**: uma contribuição ao estudo da obtenção de biocombustíveis sintéticos através da síntese Fischer-Tropsch. 2009 Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, 2009

EUROPEAN COMMISSION. **Climate package**. Disponível em:

<http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm> Acesso em :08 mar. 2012

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, **Balanco Energético Nacional 2011**: Ano base 2010 Rio de Janeiro: EPE, 2011

EXXON MOBIL **2010 The Outlook for energy**: a view to 2030. Disponível em:

<http://www.exxonmobil.com/Corporate/Files/news_pub_eo_2009.pdf> Acesso em : 10 maio 2012.

FOUQUET R., PEARSON P. J.G. Seven centuries of energy services: the price and use of light in the United Kingdom (1300-2000). **The Energy Journal**, v. 27, n.1. 2006

FRANÇA M. I. T. A corrida pelo carvão limpo . **Revista Planeta** fev., 2009. Disponível em:

< <http://www.terra.com.br/revistaplaneta/edicoes/437/artigo125820-1.htm>> Acesso em: 15 set.2012.

FRATE S. Tecnologias disponíveis e emergentes para o tratamento de resíduos sólidos visando a geração de energia. In: SEMINÁRIO DE BIOENERGIA, 3: desafios e oportunidades de negócios. **Anais**. São Paulo: Cenbio/IEE/USP, 2011

GARBIN L. , GERODETTI J. E. Carrões Album de Retratos em versão on line . **Estadão, São Paulo**, 18 maio 2012 . Disponível em :<<http://blogs.estadao.com.br/album-de-retratos/carroes/>>. Acesso em : 18 maio 2012.

GEROSA T. M. **Desenvolvimento e aplicação de ferramenta metodológica aplicável à identificação de rotas insumo-processo-produto para a produção de combustíveis e derivados sintéticos** Tese de Doutorado defendida no Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, no primeiro semestre de 2011

GRANATSTEIN D. L. **Case Study on Waste-Fuelled Gasification Project Greve in Chianti, Italy** Relatório para INTERNATIONAL ENERGY AGENCY Bioenergy – Task 36, 2003, disponível em <http://www.ieatask33.org/app/webroot/files/file/publications/GreveCaseStudy.pdf>
Acesso em: 15 set. 2012.

GASIFICATION TECHNOLOGY COUNCIL, **Lista de gaseificadores de biomassa** acessado em 2012 e disponível em <http://www.gasification.org/database1/search.aspx?a=66&b=103&c=85>
Acesso em: 25 jun.2012.

GUZMAN D. **Bankrupt CHOREN sells tech to Linde**, ICIS, 10 de fevereiro de 2012 disponível em <http://www.icis.com/blogs/green-chemicals/2012/02/bankrupt-choren-sells-tech-to.html>>. Acesso em: 26 out. 2012.

HEMÈRY, D, DEBIER, J. C., DÉLEAGE, J-P- **Uma história da energia** Trad. Sérgio de Salvo Brito-Ed. Universidade de Brasília, 1993.

HULSE, C.; HERSZENHORN, D. M. "Democrats Call Off Climate Bill Effort". **The New York Times** 22/07/2010 . <<http://www.nytimes.com/2010/07/23/us/politics/23cong.html>>.
Acesso em: 5 set. 2011.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2009** . Disponível em http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2009/weo2009_es_english.pdf.
Acesso em: 10 nov. 2011

_____. **Energy Technology Perspectives 2010**. Disponível em <http://www.iea.org/techno/etp/index.asp>. Acesso em: 10 nov. 2011.

_____. **BIOENERGY TASK 33 Country Reports**. Disponível em <http://www.ieatask33.org/content/country_reports>. Acesso em: 10 abr. 2012

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY TASK 33 B **Swedish Reports**. Disponível em <http://www.ieatask33.org/content/country_reports>. Acesso em: 23 abr. 2012

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY .BIOENERGY TASK 33 C .**UK Reports** Disponível em: < http://www.ieatask33.org/content/country_reports>. Acesso em: 23 set. 2012

_____. BIOENERGY TASK 33 D **USA Reports** 2011. Disponível em: <http://www.ieatask33.org/content/country_reports>. Acesso em: 23 set. 2012.

_____. BIOENERGY TASK 33 E **Austria Reports** 2011. Disponível em: <http://www.ieatask33.org/content/country_reports>. Acesso em: 23 set. 2012

_____. BIOENERGY TASK 33 F **Austria Reports** 2012. Disponível em: <http://www.ieatask33.org/content/country_reports>. Acesso em 23 set. 2012.

_____. BIOENERGY TASK 39. Disponível em: < <http://biofuels.abc-energy.at/demoplants>>. Acesso em: 23 set. 2012.

_____. BIOENERGY TASK 42 – **Countries Report Co-production of fuels, chemicals, power and materials from biomass**, 2009. Disponível em: <http://www.iea-bioenergy.task42-biorefineries.com/publications/reports/>. Acesso em: 23 set. 2012

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **The Climate Change The Phisical Basis Science**, 2007 Disponível em: < <http://www.ipcc.ch/>> . Acesso em: 25 nov. 2011.

JESSEN H. **Gevo, Butamax each announced additional lawsuits filed**, Ethanol Producer . Disponível em: < <http://ethanolproducer.com/articles/9035/gevo-butamax-each-announced-additional-lawsuits-filed>>. Acesso em 14 set. 2012.

KAUPP A., GOSS J. R. **State of the art report for small scale (to 50 kw) gas producer - engine systems U.S. Department of Agriculture**, 1981. Disponível em: http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNAAK705.pdf . Acesso em 15 mar. 2012.

KIRKELS A. F., VERBONG G. P.J. Biomass gasification: Still promising? A 30-year global overview **Renewable and Sustainable Energy Reviews** v. 15, p. 471-481, 2011

KIOR **home page** acessada em setembro de 2012. Disponível em: <<http://www.kior.com/content/ourtech/movie.html>>. Acesso em: 26 set. 2012.

KLASS D. **Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals**, Academic Press, Sand Diego CA, 1998

KOOP D. MORRIS C. Linde buys Choren's Carbo-V technology, 15 de fevereiro de 2012 **Renewables International**. Disponível em: < <http://www.renewablesinternational.net/linde-buys-chorens-carbo-v-technology/150/515/33097/>>. Acesso em: 18 maio 2012.

LANDES D. S. **Prometeu Desacorrentado: transformação tecnológica e desenvolvimento industrial na Europa ocidental, desde 1750 até a nossa época**. Editora Nova Fronteira, 664 p., 1994.

LANDGRAF, F. **Programa Biosyngas do IPT**. In: SIMPÓSIO DE GASEIFICAÇÃO São Paulo , 2012.

LEAL-QUIRÓS E. Plasma processing of municipal solid waste **Brazilian Journal of Physics** v.34, n..4b, Dec. 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-97332004000800015>>. Acesso em 28 set. 2012.

MAGNANI L. A. SEGAWA H. **Complexo do Gasometro: a energia de São Paulo, Via das Artes**, 2007

MEDEIROS O. M. de ALVES JÚNIOR C. **Plasma: uma tecnologia fascinante para destruição de resíduos sólidos**. Disponível em:< <http://www.ufrn.br/davinci/outubro/4.htm>>. Acesso em: 4 dez. 2011.

MELO FILHO, M. **A história do gás natural: do Rio de Janeiro para o Brasil**. Rio de Janeiro, 2005.

MILLER B.G. **Coal Energy Systems**, Estados Unidos, Elsevier, 542 p., 2005

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Energia 2030** Brasília : MME: EPE, 2007

MOREIRA, J. R. VELÁZQUEZ, S. M. S. G. APOLINÁRIO, S. M. MELO, E. H. ELMADJIAN, P. H. **Projeto Best – Bioetanol para o Transporte Sustentável**, Disponível em: < cenbio.iee.usp.br/download/publicacoes/bestagrener18jun2008.pdf>. Acesso em: 23 set. 2012.

MORRIS M., WALDHEIM L. Energy recovery from solid waste fuels using advanced gasification technology **Waste Management** v. 18, n. 6-8, p. 557-564, 1998.

NAIK, S. N., GOUD, V. V., ROUT, P. K., & DALAI, A. K. Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n.2, 2010

NEELIS, M. L., PATEL, M., GIELEN, D. J., BLOK, K. Modelling CO₂ emissions from non-energy use with the non-energy use emission accounting tables (NEAT) model. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 45, n.3, p. 226-250, 2005.

NETL_ NATIONAL ENERGY TECHNOLOGY LABORATORY **Plasma Gasification**. Disponível em: < http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/gasifipedia/4-gasifiers/4-1-4-1a_westinghouse.html > . Acesso em: 23 set. 2012.

NORDHAUS W. D. Do Real-Output and Real-Wage Measures Capture Reality? The History of Lighting Suggests Not. in **The Economics of New Goods**, University of Chicago, 1996

OR Observatorio REED. **Europa deve votar em março corte de 40% nas emissões para 2030**, . Disponível em: <http://www.observatoriodoredd.org.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=857:europa-deve-votar-em-marco-corte-de-40-nas-emissoes-para-2030&catid=3&Itemid=65>. Acesso em: 07 jun. 2012.

PAGINA SUSTENTÁVEL **Covanta anuncia sucesso nos testes de sua tecnologia de gaseificação**. Disponível em: < <http://www.paginasustentavel.com.br> >. Acesso em 7 jun.2012.

PARKER M. **Range Fuels Cellulosic Ethanol Plant Fails**, Artigo publicado na Bloomberg Ed. Disponível em: < <http://www.bloomberg.com/news/2011-12-02/range-fuels-cellulosic-ethanol-plant-fails-as-u-s-pulls-plug.html> >. Acesso em: 7 jun. 2012.

PERIMAN R. Early Industrial World, Energy Flow in **Concise Encyclopedia of the History of Energy** org. Cutler J. Cleveland, Elsevier, 2009

PIMENTEL D. A. **Indicadores de vulnerabilidade de produtores de petróleo: O caso da OPEP. 2006.** (Mestrado em Engenharia) - Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de janeiro, 2006.

PINTO JR H. Q. (ORG) **Economia da Energia: Fundamentos Econômicos Evolução Histórica e Organização Industrial** Elsevier, 3ª ed., 2007

PITEROU, A., SHACKLEY, S., UPHAM, P. Project ARBRE: Lessons for bio energy developers and policy-makers. **Energy Policy**, v. 36, n.6, p. 2044–2050, 2008.

RAJVANSHI, A. K. Biomass gasification. In Y. Goswami (Ed.), **Alternative Energy in Agriculture** CRC Press v. 2, p. 83-102, 1986

RAMOS A. L.D., MARQUES J. J., DOS SANTOS V., FREITAS L. DOS S., SANTOS R., SOUZA G. V. DE M. Atual Estágio de Desenvolvimento da Tecnologia GTL e Perspectivas para o Brasil . **Química Nova**, v. 34, n. 10, p. 1704-1716, 2011

RAPIER R. **What Happened at Choren?** Consumer Energy Report,. Disponível em: <http://www.consumerenergyreport.com/2011/07/08/what-happened-at-choren/>. Acesso em: 18 jun. 2012.

RENEW PROJECT. **Final Report** 2009. Disponível em: < www.renewfuel.com > . Acesso em: 12 ago. 2012.

REIMERT R., SCHAUB G., Chapter 4, **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**, , Gas Production, Wolfgang Gerhard, v. A-12, n. 5, VHC Pulbishers, 1989

RISTINEN R. A., KRAUSHAAR J. P. **Energy and the Environment**, Wiley, 2^a ed 2005

RTI International, **Environmental and Economic Analysis of Emerging Plastics Conversion Technologies**. Disponível em: <<http://plastics.americanchemistry.com/Sustainability-Recycling/Energy-Recovery/Environmental-and-Economic-Analysis-of-Emerging-Plastics-Conversion-Technologies.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2012

RUSSELL P., PROBERT S.D., The UK natural-gas industry, **Applied Energy**, v. 31, n. 4, p.263-303, 1988

SAGER A. **Possibilidades e Barreiras para Resíduos como Recurso**. In: ENCONTRO INTERNACIONAL EM RESÍDUOS SÓLIDOS E SEUS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS, 2. 2012.

SANTOS, G. G. D. **Análise e Perspectivas de Alternativas de Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos: o Caso da Incineração e da Disposição em Aterros**. Disponível em :< http://www.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/guilherme_santos.pdf >. Acesso em: 28 set. 2012

SCHULZ H. Short history and present trends of Fischer – Tropsch synthesis. **Science**, v. 186, p. 3-12, 1999

SIMS, R. E. H., MABEE, W., SADDLER, J. N., & TAYLOR, M. An overview of second generation biofuel technologies. **Bioresource technology**, v.101, n.6, p. 1570-80, 2010

SHELL **German chancellor visits CHOREN to mark completion of building phase of world's first Comercial BTL plant**, Release corporativo de 17 de abril de 2008, disponível em http://www.shell.com/home/content/media/news_and_media_releases/archive/2008/visit_merkel_choren_17042008.html> . Acesso em: 12 set. 2012

SILVA, J. L. M. **O impacto do gás e da eletricidade na casa paulistana (1870-1930) : estudos de cultura material no espaço doméstico**. Edusp: São Paulo, 2002

SILVA C. A. R. **Incineração - potencial de geração, modelagem financeira da modalidade e tecnologias**. In: Forum de Resíduos Sólidos, 2., 2011

SOARES E. Usina de plasma é aprovada em audiência pública **Home Page da Prefeitura de Hortolândia**. Disponível em: http://www.hortolandia.sp.gov.br/wps/portal/!ut/p/c0/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os_hAEz9vb1N_YwOLwDBXA0_XkEDvEBdvA69AY_2CbEdFANJZDcY!/?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/Hortolandia2011/hortolandia2011/noticias/meio+ambiente/usina+de+plasma+e+aprovada+em+audiencia+publica>. Acesso em: 13 ago. 2012.

SPARKS, **Apartheid Modern: South Africa's Oil from Coal Project and the history of a company town** dissertação parcial apresentada para cumprimento de doutorado de filosofia da Universidade de Michigan, 2012. Disponível em: http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/2027.42/91528/1/sparkss_1.pdf >. Acesso em: 7 set. 2013.

STERN J. **Natural Gas in Europe: The Importance of Russia**. Disponível em: http://www.centrex.at/en/files/study_stern_e.pdf > . Acesso em: 05 mar.2012 .

SULGAS **Gás Natural no Mundo**. Disponível em: <http://www.sulgas.rs.gov.br/index.asp?SECAO=10&SUBSECAO=40&EDITORIA=58> Acesso em: 12 nov.2012

THE GUARDIAN **Saudi dove in the oil slick**. Disponível em: <http://www.guardian.co.uk/business/2001/jan/14/globalrecession.oilandpetrol> >. Acesso em: 06 maio 2012.

TOMORY L. The Environmental History of the Early British Gas Industry, 1812–1830 *Environmental History* 17, n.1, p. 29-54, 2012

VAZ JR. S., **Biorrefinarias: cenários e perspectivas**. Brasília :Embrapa Agroenergia, 2011

VERAS C. A. G. **12. Rota térmica para biorrefinarias**. In: *BRAZILIAN SYMPOSIUM ON BIOREFINERIES*, 2. *Proceedings SNBR*, 2013

WALDHEIM L. Apresentação TPS' (Termiska Processer AB) experiences in the development and operation in biomass gasification plant. In: SIMPÓSIO DE GASEIFICAÇÃO, 2012

WERZ J. L., BEDUE O. MERCIER. J. P. *Cellulose Science and Technology* Ed. CRC Press 2010.

WETHEROLD, B.; ORR, D.; MAXWELL, D. **A Comparison of Gasification and Incineration of Hazardous Wastes A Comparison of Gasification and Incineration. Technology**. Morgantown, West Virginia, 2000. Disponível em <http://www.netl.doe.gov/publications/others/techrpts/igcc_wp.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2012.

WWF Ecofys, **A fully renewable energy system globally by 2050**. Disponível em: http://www.ecofys.com/files/files/wwf_ecofys_2011_theenergyreport_summary.pdf.

YERGIN, D. **O Petróleo: uma história de ganância, dinheiro e poder**. 932 p. São Paulo, 1994

YERGIN, D. **O Petróleo: uma história de ganância, dinheiro e poder**. São Paulo: Paz e Terra, 2009

GLOSSÁRIO

Albedo – relação entre a quantidade de luz refletida pela superfície terrestre e a quantidade de luz recebida do Sol, em áreas claras o albedo é maior. O derretimento de geleiras, reduz o efeito albedo da Terra, aumentando a energia da atmosfera e afetando a temperatura de equilíbrio do planeta

Alcatrão – mistura de substâncias de aspecto betuminoso, espesso, escuro e de forte odor, que se obtém da destilação de certas matérias orgânicas

Atividade proto-industrial – atividade que ainda não se caracteriza como plenamente industrial

Biomassa – derivados recentes de organismos vivos compostos prioritariamente por carbono

BTL – Sigla de Biomas-to-Liquid, conversão de biomassa em hidrocarbonetos líquidos

Carbon Capture and Storage (CCS) – processo de captura de dióxido de carbono de fontes emissoras e transporte para formações geológicas subterrâneas onde ficam armazenados sem impacto na atmosfera

Carvão antracito - carvão mineral que apresenta o teor de carbono fixo de 92% a 98%

Carvão Mineral – Carbono fossilizado em forma de mineral sólido

Carvão Vegetal – Produto obtido a partir do aquecimento de biomassa na ausência de oxigênio para retirada de água e outros constituintes voláteis

Compostos aromáticos - compostos orgânicos que contêm um anel de benzeno nas suas moléculas ou que possuem propriedades químicas idênticas às do benzeno.

Contrato turn key - contrato em que a empresa contratada fica obrigada a entregar a obra em condições de pleno funcionamento

Coque – Combustível derivado do aquecimento de hulha (sem combustão) que adicionado à carga metálica produz ferro-gusa

CTL – Sigla de Coal-to-Liquid, conversão de carvão mineral em hidrocarbonetos líquidos

Dimetil éter (DME) – substância gasosa de fórmula CH_3OCH_3 utilizada primordialmente em aerossóis, mas que pode ser usadas como combustível

Economia de baixo carbono – modelo econômico baseado na redução da intensidade de carbono da economia, ou seja, na desvinculação do crescimento econômico com a quantidade de emissões de gases efeito estufa

Efeito Estufa – efeito natural de retenção das ondas infravermelhas por moléculas complexas como CO_2 , CH_4 e outras e incrementada por emissões humanas a partir do uso e queima de combustíveis fósseis. O incremento aumenta a energia presente na atmosfera, alterando o equilíbrio climático e causando as chamadas mudanças climáticas de causas antropogênicas

Gás Natural (GN) – mistura de hidrocarbonetos com mais de 70% de metano encontrado na forma gasosa em condições normais de temperatura e pressão

Gás Natural Liquefeito (GNL) – Gás Natural condensando ao estado líquido por meio da redução da sua temperatura

Gaseificação crossdraft – gaseificação em que a biomassa é alimentada no topo e o ar pelo lado, mas o gás sai pelo lado oposto do ar

Gaseificação downdraft – gaseificação em que a biomassa é alimentada no topo e o ar pelo lado, sendo que o gás combustível é retirado por baixo da grelha

Gasogênio – equipamento de gaseificação em veículos geralmente externos, mas que em fuscas na Alemanha no período da Segunda Grande Guerra chegou a ser embutido no porta-malas dianteiro.

GTL – Sigla de Gas-to-Liquid, conversão de gás natural em hidrocarbonetos líquidos

Hulha ou carvão betuminoso – Carvão mineral composto de carbono fixo na fração de 60 a 80%

Intensidade de carbono – quantidade de carbono emitida em relação ao produto econômico do país (PIB)

Lenha – material obtido a partir do tecido formado pelas plantas lenhosas

Lignita – carvão mineral com 25-35% de carbono fixo e cor amarronzada

Nafteno - hidrocarbonetos cíclicos que possuem pelo menos uma cadeia carbônica fechada

Naphtha ou nafta – mistura de moléculas de hidrocarbonetos compostas de 5 a 12 carbonos

Mtoe – Million Tonnes of Oil Equivalent ou Milhões de Toneladas de Petróleo Equivalente, medida de energia equivalente à quantidade de energia gerada ao se queimar uma tonelada de petróleo cru, aproximadamente 42 GJ

Pegada de Carbono – cálculo de todas as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), emitidos durante o ciclo de vida de um produto

Petróleo – carbono fossilizado na forma de uma mistura de hidrocarbonetos em solução líquida

Pico de Hubbert – auge da produção do petróleo que, segundo Marion King Hubbert, segue uma curva no formato de um sino, avançando exponencialmente a partir das descobertas até o seu pico de produção, quando começa a reduzir

Refuse-Derived Fuel (RDF) – Fração dos Resíduos Sólidos com maior poder calorífico picados e desidratados a fim de servirem como combustível

Resíduos Sólidos Urbanos – conjunto de resíduos que comporta aqueles produzidos pelas inúmeras atividades desenvolvidas em áreas com aglomerações humanas do município, abrangendo resíduos de várias origens, como residencial, comercial, de estabelecimentos de saúde, industriais, da limpeza pública e construção civil

Sea coal – expressão para caracterizar o carvão mineral originário da ilha britânica

Tonelada métrica (t) - unidade de massa equivalente a 103 kg, diferente da tonelada curta (ton) que é equivalente a 2000 libras e 907,1853 kg

Turfa – material de origem vegetal parcialmente decomposto que sob condições geológicas adequadas, transformam-se em carvão mineral

Waste-to-Energy (WtE) – geração de energia (eletricidade e/ou calor) a partir da incineração de resíduos

Anexo 1 - Lista Task 33

Empresa/Instituto	Categoria	Local	País	Data do rel.	
Graz University of Technology	Instituto de P&D	Graz	Austria	2011	
Joanneum Research	Instituto de P&D	Graz	Austria	2011	
Vienna University of Technology	Instituto de P&D	Vienna	Austria	2011	
Austrian Bioenergy Centre	Instituto de P&D	Graz	Austria	2011	
Bioenergy 2020+	Instituto de P&D	Graz	Austria	2011	
Austrian Energy – AE Energietechnik	Industria	Graz and Vienna	Austria	2011	
AGT Agency for Green Technology	Industria	Schoerfling	Austria	2011	
Austrian Enviro Technologies	Industria	Vienna	Austria	2011	
GE Jenbacher Energiesysteme AG	Industria	Jenbach	Austria	2011	
Repotec Umwelttechnik GmbH	Industria	Guessing	Austria	2011	
Urbas GmbH	Industria	Völkermarkt	Austria	2011	
XYLOGAS Energieanlagenbau und Handel	Industria	Kohlberg	Austria	2011	
Guessing	Implementação	Guessing	Austria	2011	
Oberwart	Implementação		Austria	2011	
Villach	Implementação		Austria	2011	
Klagenfurt	Implementação		Austria	2011	
Geislingen, DE	Implementação		Austria	2011	
Ulm, DE	Implementação		Austria	2011	
Technical University of Dinamarca	Instituto de P&D	Lyngby	Dinamarca	2004	
The Danish Forrest and Landscape Resear	Instituto de P&D	Vejle	Dinamarca	2004	
Risø National Laboratory	Instituto de P&D	Roskilde	Dinamarca	2004	
Technical University of Lund,	Instituto de P&D	Lund	Suécia	2004	
The Danish Technological Institute	Instituto de P&D	Aarhus C	Dinamarca	2004	
FORCE Technology	Instituto de P&D	Brøndby	Dinamarca	2004	
Volund R/D Centre/ Babcock & Wilcox	Industria	Esbjerg	Dinamarca	2004	
Hollensen Engineering and Boilers	Industria	Sunds	Dinamarca	2004	
ENERGI E2 A/S	Industria	Copenhagen	Dinamarca	2004	
ELSAM A/S (agora DONG)	Industria	Fredericia	Dinamarca	2004	
BioSynergi Proces ApS	Industria	Hørsholm	Dinamarca	2004	
Weiss A/S	Industria	Hadsund	Dinamarca	2004	
TK Energi A/S	Industria		Dinamarca	2004	
KN Industries	Industria		Dinamarca	2004	
Danish Fluid Bed Technology Aps (Catsci)	Industria	Frederiksborgvej	Dinamarca	2004	
COWI A/S	Industria		Dinamarca	2004	
Reatech	Industria	Roskilde	Dinamarca	2004	
Harboøre CHP plant	Implementação	Harboøre	Dinamarca	2004	
Ansager Stirling	Implementação		Dinamarca	2004	
Løgstør CHP plant	Implementação	Fredericiagade	Dinamarca	2004	
Kibæk CHP plant	Implementação	Kibæk	Dinamarca	2004	
Skive CHP plant	Implementação	Skive	Dinamarca	2004	
Gjøl	Implementação	Gjøl	Dinamarca	2004	
Græsted	Implementação	Græsted	Dinamarca	2004	
Weiss A/S	Implementação	Hadsund	Dinamarca	2004	
VTT - Technical Research Centre of Finlan	Instituto de P&D		Finlandia	2008	
TKK - Helsinki University of Tehnology, De	Instituto de P&D		Finlandia	2008	
Åbo Akademi University, Faculty of Chemi	Instituto de P&D	Åbo	Finlandia	2008	
Foster Wheeler Energia Oy,	Industria	Helsinki	Finlandia	2008	

Carbona Ou /Andritz	Industria	Helsinki	Finlandia	2008
Condens Oy,	Industria	Hämeenlinna	Finlandia	2008
Puhdasenergia Oy,	Industria	Tampere	Finlandia	2008
Lahti Kymijärvi Plant /Lahden Energia Ou	Implementação	Lahti	Finlandia	2008
Varkaus gasification plant/Corenso	Implementação	Varkaus	Finlandia	2008
Kokemäki Novel-gasification plant	Implementação	Kokemäki	Finlandia	2008
BIONEER gasifier	Implementação	cinco plantas	Finlandia	2008
ECN	Instituto de P&D		Holanda	2008
KEMA	Instituto de P&D		Holanda	2008
TNO	Instituto de P&D		Holanda	2008
BTG	Instituto de P&D		Holanda	2008
Kiwa Gastec	Instituto de P&D		Holanda	2008
Ecofys	Instituto de P&D		Holanda	2008
University of Utrecht	Instituto de P&D		Holanda	2008
TU Delft	Instituto de P&D		Holanda	2008
TU Eindhoven	Instituto de P&D		Holanda	2008
University of Twente	Instituto de P&D		Holanda	2008
University of Groningen	Instituto de P&D		Holanda	2008
Shell	Industria		Holanda	2008
Host	Industria		Holanda	2008
Dahlman	Industria		Holanda	2008
Polow Projects:	Industria		Holanda	2008
Darwin	Industria		Holanda	2008
Sparqle	Industria		Holanda	2008
KARA Energy Systems:	Industria		Holanda	2008
BioMCN	Industria		Holanda	2008
NUON	Industria		Holanda	2008
Essent	Industria		Holanda	2008
The Essent 30 MWe CFB gasifier	Implementação	Geertruidenberg	Holanda	2008
The 250 MWe NUON IGCC	Implementação	Buggenum	Holanda	2008
The 3 MWth CFB chicken manure gasifier	Implementação	Tzum	Holanda	2008
Torbed gasifier,	Implementação		Holanda	2008
University of Canterbury	Instituto de P&D		Nova Zelândia	2011
CRL Energy Ltd	Instituto de P&D	Lower Hutt, Wellington	Nova Zelândia	2011
Fluidyne Gasification Ltd.	Industria		Nova Zelândia	2011
Waiariki wood waste gasification plant	Implementação	Auckland	Nova Zelândia	2011
Royal Institute of Technology	Instituto de P&D		Suécia	2008
TPS Termiska Processer AB	Instituto de P&D		Suécia	2008
Lund University	Instituto de P&D		Suécia	2008
Växjö University	Instituto de P&D	Växjö	Suécia	2008
Mitt Universitetet	Instituto de P&D	Härnösand	Suécia	2008
Umeå University	Instituto de P&D	Umeå	Suécia	2008
Luleå Technical University	Instituto de P&D	Luleå	Suécia	2008
Energy Technology Center	Instituto de P&D	Piteå	Suécia	2008
Chalmers Technical University	Instituto de P&D	Gothenburg	Suécia	2008
Mälardalens Högskola	Instituto de P&D	Västerås	Suécia	2008
Svenskt Gastekniskt Centrum	Instituto de P&D		Suécia	2008
Bioneer	Implementação	Vilhelmina	Suécia	2008
Foster Wheeler	Implementação	Norrundet	Suécia	2008
Foster Wheeler	Implementação	Karlsborg	Suécia	2008

Metso (Götaverken)	Implementação	Värö	Suécia	2008
Bioflow	Implementação	Värnamo	Suécia	2008
Chemrec (Kværner)	Implementação	Frövifors	Suécia	2008
Chemrec	Implementação	Piteå	Suécia	2008
Chrisgas	Implementação	Värnamo	Suécia	2008
PSI Paul Scherer Institute	Instituto de P&D	Villigen	Suíça	2011
PSI Paul Scherer Institute	Instituto de P&D	Villigen	Suíça	2011
PSI Paul Scherer Institute	Instituto de P&D	Villigen	Suíça	2011
EMPA	Instituto de P&D	Dübendorf	Suíça	2011
EKZ	Industria		Suíça	2011
Pyroforce	Industria		Suíça	2011
XyloPower	Industria	Dietikon	Suíça	2011
EMPA	Implementação		Suíça	2011
Mitsui Babcock Technology Centre (Doosan)	Instituto de P&D	Renfrew, Scotland	Reino Unido	2006
Siemens Industrial Turbines	Instituto de P&D	Lincoln, England	Reino Unido	2006
Powergen Technology (E.on)	Instituto de P&D	Nottingham	Reino Unido	2006
Biomass Engineering Ltd	Industria		Reino Unido	2006
Eco-tran Ltd	Industria		Reino Unido	2006
Biomass CHP	Industria	LARNE, North Ireland	Reino Unido	2006
Compact Power (Ethos Power)	Industria		Reino Unido	2006
Eco2	Industria	Cardiff, Wales	Reino Unido	2006
GEM	Industria	Port Talbot	Reino Unido	2006
JND Ltd	Industria		Reino Unido	2006
ITI	Industria		Reino Unido	2006
Mitsui Babcock (Doosan)	Industria		Reino Unido	2006
Novera Ltd (infinis)	Industria		Reino Unido	2006
Rural Generation Ltd	Industria	Londonderry	Reino Unido	2006
Siemens Industrial	Industria		Reino Unido	2006
Ormrod Diesels	Industria		Reino Unido	2006
ClearFuels /Rentech	Implementação	Commerce City, Colorado	Estados Unidos	2011
Enerkem	Implementação	Pontotoc, Mississippi	Estados Unidos	2011
Flambeau Rivers	Implementação	Park Falls, Wisconsin	Estados Unidos	2011
Haldon Topsoe	Implementação	Des Plaines Illinois	Estados Unidos	2011
INEOS	Implementação	Vero Beach, Florida	Estados Unidos	2011
New Page	Implementação	Wisconsin Rapids Wisconsin	Estados Unidos	2011
REII - Renewable Energy Institute International	Implementação	Toledo, Ohio	Estados Unidos	2011
Adaptive Arc	Industria		Estados Unidos	2011
Advanced Alternative Energy	Industria		Estados Unidos	2011
Bioten Power & Energy	Industria		Estados Unidos	2011
Bioconversion Technology,	Industria	Denver, CO	Estados Unidos	2011
Biomass Gas & Electric, LLC	Industria		Estados Unidos	2011
Black and Veatch	Industria		Estados Unidos	2011
Carbona Corp	Industria	Napa, CA	Estados Unidos	2011
Chiptec	Industria	South Burlington, VT	Estados Unidos	2011
Clear Fuels	Industria	Aiea, HI	Estados Unidos	2011
Clenergen	Industria	Coconut Creek, FL	Estados Unidos	2011
Foster Wheeler	Industria	Clinton, NJ	Estados Unidos	2011
FrontLine Bioenergy	Industria		Estados Unidos	2011
Gazogen	Industria	Marshfield VT	Estados Unidos	2011
GTI Flex-Fuel Gasification	Industria	Des Plaines, IL	Estados Unidos	2011

GTS Duratek	Industria	Barrington, IL	Estados Unidos	2011
Gulf Coast Energy	Industria		Estados Unidos	2011
Hamilton Mauer International/MIFGA	Industria		Estados Unidos	2011
HTI - Heat Transfer International	Industria		Estados Unidos	2011
ICM Inc.	Industria		Estados Unidos	2011
InEnTec	Industria		Estados Unidos	2011
Intellergy - Rockwell	Industria		Estados Unidos	2011
Mississippi Ethanol	Industria		Estados Unidos	2011
Nexterra	Industria	Vancouver, BC	Estados Unidos	2011
Pearson Technologies of Mississippi	Industria	Aberdeen, MS	Estados Unidos	2011
Planet Green Solutions	Industria	Fairfield, FL	Estados Unidos	2011
PHG Energy	Industria		Estados Unidos	2011
Powerhouse Energy Pyromex	Industria	Pasadena, CA	Estados Unidos	2011
Primenergy	Industria	Tulsa, OK	Estados Unidos	2011
Range Fuels	Industria		Estados Unidos	2011
Red Lion Bioenergy	Industria		Estados Unidos	2011
Rentech	Industria	Los Angeles, Ca	Estados Unidos	2011
SunDrop Fuels	Industria	Louisville, Colorado	Estados Unidos	2011
Taylor Biomass	Industria	Montgomery, NY	Estados Unidos	2011
Thermo Technologies LLC also SynGasCo	Industria	Englewood, CO	Estados Unidos	2011
Thermochem (TRI)	Industria	Baltimore, MD	Estados Unidos	2011
Thermogenics	Industria	Albuquerque, NM	Estados Unidos	2011
TRI (Thermochem)	Industria		Estados Unidos	2011
Viresco	Industria	Riverside, CA	Estados Unidos	2011
Vista International Technologies (formerly	Industria	Englewood, CO	Estados Unidos	2011
West Biofuels	Industria	Woodland, CA	Estados Unidos	2011
Alter NRG (Westinghouse Plasma)	Industria		Estados Unidos	2011
Ze-Gen	Industria	Boston, MA	Estados Unidos	2011

SINTEF Energy Research	Instituto de P&D	NO-7465, Trondheim	Noruega	
Norwegian University of Science and Tech	Instituto de P&D	NO-7491, Trondheim	Noruega	
Norwegian University of Science and Tech	Instituto de P&D	NO-7491, Trondheim	Noruega	
Institutt for Energiteknikk (IFE)	Instituto de P&D	NO-40, 2027 Kjeller	Noruega	
Paper and Fibre Research Institute (PFI)	Instituto de P&D	NO-7491, Trondheim	Noruega	
ENERGOS AS	Industria	Kvenildmyra 5 N-7072,	Noruega	
Fiborgtangen Vekst AS	Industria	N-7620, Skogn	Noruega	
Agder Biocom AS	Industria	Industriveien 2, N-4484	Noruega	
Ranheim	Implementação		Noruega	
Averøy	Implementação		Noruega	
Hurum	Implementação		Noruega	
Forus	Implementação		Noruega	
Sarpsborg	Implementação		Noruega	
Sarpsborg	Implementação		Noruega	
TUBITAK – Marmara Research Centre (MF	Instituto de P&D	Kocaeli	Turquia	2011
Marmara University	Instituto de P&D	İstanbul	Turquia	2011
İstanbul Technical University	Instituto de P&D	İstanbul	Turquia	2011
Middle East Technical University	Instituto de P&D		Turquia	2011
Anadolu University	Instituto de P&D	Eskisehir	Turquia	2011
Bosphorus University	Instituto de P&D	İstanbul	Turquia	2011
İstanbul University	Instituto de P&D	İstanbul	Turquia	2011
Bartın University	Instituto de P&D	Bartın	Turquia	2011

Ege University	Instituto de P&D	İzmir	Turquia	2011
ALYAK Ltd.Sti.	Industria		Turquia	2011
BIYOSFER Ltd.Sti.	Industria		Turquia	2011
MIMSAN Ltd.Sti.	Industria		Turquia	2011
OYKA KAGIT AMBALAJ A.S.	Industria		Turquia	2011
RELIGHT ENERJI URETİM A.S.	Industria		Turquia	2011
S.H. GERİ DONUSUM SİSTEMLERİ Ltd.Sti	Industria		Turquia	2011
YEMTAR MAKİNE SANAYİ A.S.	Industria		Turquia	2011
Ankara-Mamak	Implementação	Ankara-Mamak	Turquia	2011