



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ENG07053 - TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM
ENGENHARIA QUÍMICA



Potenciais e Desafios da Pirólise Rápida Aplicada aos Resíduos Florestais do Eucalipto

Autor: Felipe de Castro e Silva

*Orientadores: Jorge Otávio Trierweiler
Luciane Ferreira Trierweiler*

Porto Alegre, dezembro de 2016

Sumário

Sumário	iii
Agradecimentos	v
Resumo	vi
Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas	ix
Lista de Abreviaturas e Siglas	x
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivo	3
1.3 Estrutura do trabalho	4
2 Revisão Bibliográfica	5
2.1 Processos termoquímicos, briquetagem e <i>peletização</i>	5
2.1.1 Briquetagem e peletização	5
2.1.2 Combustão direta e incineração	6
2.1.3 Gaseificação	7
2.2 Pirólise	8
2.2.1 Pirólise Lenta	12
2.2.2 Pirólise Rápida	13
2.3 Eucalipto	15
3 Caracterização e o mapeamento dos resíduos de eucalipto no Rio Grande do Sul	16
3.1.1 Caracterização no estado do Rio Grande do Sul e no Brasil	16
3.1.2 Visita técnica à CMPC Celulose Rio Grandense	20
4 Estimativa dos produtos oriundos da pirólise do Eucalipto	22
4.1 Produtos gerados	22
4.2 Separação dos compostos	23
4.2.1 Químicos produzidos pela fração total de bio-óleo	24
4.2.2 Químicos produzidos do fracionamento do Bio-óleo	24
4.2.3 Químicos específicos obtidos do bio-óleo	25
5 Potenciais mercados dos produtos gerados	26
5.1 Farmacologia	26
5.2 Fertilizantes	27
5.3 Pesticidas	30
5.4 Flavorizante/Aromatizantes na indústria de alimentos	32
6 Conclusões e Trabalhos Futuros	34
7 Referências	36
8 Apêndice	39
8.1 Apêndice A	39

8.2	Apêndice B	39
8.3	Apêndice C	40

Agradecimentos

Primeiramente agradeço à minha família, por serem compreensivos comigo desde o início do curso, entenderem os estudos incessantes e constantemente me lembrarem da importância de estarmos juntos e em família em todas as fases de nossas vidas.

Agradeço ao meu orientador Jorge Trierweiler pelas ideias e pelos conselhos de vida e carreira e à minha orientadora Luciane Trierweiler pela ajuda na elaboração do tema, pelo empréstimo dos livros e apoio nos passos que levaram à conclusão desse trabalho.

Também não posso me esquecer de agradecer à equipe da pirólise rápida, mais especificamente ao “time folha”, que ajudaram e estiverem presentes em todas as etapas: desde a elaboração do tema e estratégias para obter amostras de eucalipto até a visita técnica e correções, meu muito obrigado ao Lucas Raymundo, Lara Brum e Vinícius Hoffmann!

À engenheira florestal Lara Borges e à agrônoma Jéssica da empresa CMPC Celulose Rio Grandense que foram pacientes, solícitas e nos tiraram muitas dúvidas a respeito do setor florestal gaúcho.

Aos meus amigos que mesmo nas piores situações sempre me lembram que os amigos estão aqui para nos fazer esquecer das coisas ruins, rir e beber uma(s) cerveja(s).

À gestão do Centro dos Estudantes Universitários de Engenharia (CEUE) na qual fui presidente e que seguraram a barra e me apoiaram quando precisei fazer o TCC enquanto o centro tinha que se manter operante!

Meu mais sincero obrigado, este trabalho é resultado de vocês também.

Resumo

O Brasil possui a segunda maior cobertura florestal do mundo e o setor florestal, mesmo utilizando menos de 1% da área produtiva do país (florestas plantadas), detinha em 2007 cerca de 3,5% do PIB nacional. Além disso, o país é líder no ranking mundial de produtividade, produzindo em média 35 m³ de eucalipto por hectare/ano e possui a menor rotatividade (tempo entre plantio e colheita) do gênero *Eucaliptus* comparado com o resto do planeta. Este trabalho estuda a viabilidade da gestão de resíduos desta indústria através da pirólise rápida, produzindo bio-óleo e procurando aplicações de seus produtos para os mercados estratégicos brasileiros. Destacam-se os mercados de fertilizantes (com o potencial de aplicação de fertilizantes *slow-release*), o mercado de pesticidas (através do princípio ativo eucaliptol) e o mercado da farmacologia (com o composto levoglucosana). O Rio Grande do Sul tem potencial de ser promissor no cultivo do eucalipto e, por ter um mercado agropecuário forte no estado, pode absorver muitos dos produtos gerados através da pirólise rápida dos resíduos florestais do eucalipto.

Palavras-chave: Eucalipto, Pirólise Rápida, Resíduos, Bio-óleo

Lista de Figuras

Figura 1: Esquema do destino dos resíduos de madeira Fonte (WIECHETECK, 2009).....	3
Figura 2: Briquetes.....	6
Figura 3: Produtos gerados pela pirólise, derivados dos principais componentes estruturais da biomassa. Fonte: (ROCHA; TECNOLOGIA, 2004).....	10
Figura 4: Esquema de separação do bio-óleo em diferentes frações. Fonte: (ROCHA; TECNOLOGIA, 2004).....	11
Figura 5: Fluxograma simplificado de uma hipotética refinaria de bio-óleo. Fonte: (ROCHA; TECNOLOGIA, 2004).....	12
Figura 6: Esquema de um forno de alvenaria simples (retirado de UNIFEI, 2004)	13
Figura 7: Fluxograma de blocos de um processo de pirólise rápida. (Fonte: Espindola, 2014)	14
Figura 8: Crescimento da área plantada de eucalipto entre 2014 e 2015. Adaptado de (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2016).....	16
Figura 9: Gráfico relacionando a alta produtividade e baixa rotatividade do Brasil. Fonte: (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2016).....	17
Figura 10: Distribuição da área com plantios de eucalipto no país adaptado: (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2016).....	18
Figura 11: Mapeamento feito pela CMPC Celulose Rio Grandense das suas principais áreas de cultivo do eucalipto e as principais vias do estado	18
Figura 12: Expansão das áreas plantadas de eucalipto no estado do RS (adaptado pelo autor) – Fontes: (AGEFLOR, 2016; INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2016).....	19
Figura 13: Resíduos do corte de eucalipto no Horto Angico (foto obtida pelo autor)	20
Figura 14: <i>Haverster</i> (à esquerda) e <i>Fowarder</i> (à direita) – foto obtida pelo autor	21
Figura 15: Composição do bio-óleo da pirólise do <i>Eucalipto globulus</i> . Adaptado de (AMUTIO et al., 2015).....	22
Figura 16: Faturamento do setor comercial de farmácias no Brasil Fonte: (PINTO; BARREIRO, 2013))	26
Figura 17: Relação dos fertilizantes (em toneladas) com a área plantada (em hectares mil) e a produção de grãos (em toneladas mil). Fonte: (COSTA, LETÍCIA MAGALHÃES DA; SILVA, 2012)	28
Figura 18: Importação, produção e consumo de fertilizantes por milhões de toneladas. Fonte: (COSTA, LETÍCIA MAGALHÃES DA; SILVA, 2012)	29
Figura 19: Produção agrícola por região (IBGE, 2014).....	29
Figura 20: Consumo nacional de fertilizantes discriminado por estado (COSTA, LETÍCIA MAGALHÃES DA; SILVA, 2012).	30
Figura 21: Relação entre a produção de grãos, defensivos agrícolas e área plantada nacional. Fonte (RANGEL, 2013).....	31
Figura 22: da esquerda para direita, Iara Borges (Engenheira Florestal CMPC), Felipe Castro (autor), Lucas Raymundo (doutorando), Lara Brum (mestranda) e Vinícius Hoffmann (graduando)	39

Figura 23: Análise SWOT do mercado de farmacologia	40
Figura 24: Análise SWOT do mercado de fertilizantes	40
Figura 25: Análise SWOT do mercado de pesticidas	41
Figura 26: Análise SWOT do mercado de flavorizantes.....	41

Lista de Tabelas

Tabela 1: – Consumo final de energia do Brasil. Adaptado de (SANTOS, FERNANDO; COLODETTE, JORGE; QUEIROZ, 2013)	2
Tabela 2: Composição química elementar de alguns combustíveis. Fonte: adaptado de (SANTOS, FERNANDO; COLODETTE, JORGE; QUEIROZ, 2013).	7
Tabela 3: Rendimentos dos produtos típicos por diferentes formas de pirólise da madeira (adaptado de Bridgwater, 2012)	9
Tabela 4: Compostos identificados no bio-óleo (AMUTIO et al., 2015).....	22
Tabela 5: Análise dos mercados nos três critérios de avaliação (✓ = bom, ● = moderado, ✕ = ruim).....	35

Lista de Abreviaturas e Siglas

AGEFLOR – Associação Gaúcha de Empresas Florestais

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Social

CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica

CMPC – CMPC Celulose Rio Grandense

CSBR – *Conical Spouted Bed Reactor*

FAO – Food and Agriculture Organization

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFA – *International Fertilizer Industry Association*

LGA – Levoglucosana

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PIB – Produto Interno Bruto

PMVA – Produto de Maior Valor Agregado

RS – Rio Grande do Sul

SO_x – Óxidos de Enxofre

SWOT - Strength, Weakness, Opportunity, Threats

1 Introdução

1.1 Motivação

Em escopo global o setor florestal tem papel importante como fornecedor de insumos para a indústria de construção civil, transformação e setor de energético. A madeira se faz constantemente presente no nosso cotidiano: sua grande disponibilidade é consequência das amplas fontes de fornecimento, das tradições culturais e das tecnologias de transformação, logo, a madeira pode ser vista como um dos produtos essenciais básicos consumidos no mundo. Estima-se que 30% das funções nominais das florestas no mundo são para a produção de madeira (FAO, 2012).

O Brasil é um país com dimensões continentais, agraciado por ter a segunda maior cobertura florestal do mundo (ficando atrás somente da Rússia) e o único com extensa área de cobertura florestal tropical. Devido a este grande potencial, conferido ao país grande vantagem comparativa na atividade florestal, colocando o Brasil como um *player* potencial na economia florestal mundial (JUVENAL; MATTOS, 2002). O Produto Interno Bruto (PIB) florestal brasileiro atingiu cerca de R\$ 21 bilhões e US\$ 4 bilhões em exportações com saldo comercial positivo em US\$ 1,4 bilhão no ano de 2001 (JUVENAL; MATTOS, 2002). Dados mais atualizados, do ano de 2007, estimam que o setor florestal brasileiro detém cerca de 3,5% do PIB nacional, o que equivale à US\$ 37,3 bilhões. Adicionalmente, é responsável por 7,5% das exportações totais do país, as quais representam US\$ 10,3 bilhões, gerando ainda cerca de 7 milhões de empregos (FLORESTAIS, [s.d.]). Em 2014, as exportações de celulose, papel e madeira, segundo à Secretaria de Política Agrícola (SPA) do Brasil, alcançaram US\$ 5,29 bilhões; US\$ 1,93 bilhões e US\$ 2,73 bilhões; respectivamente. Menos de 1% da área produtiva do País (cerca de 7,6 milhões de hectares) é ocupado pelas florestas plantadas, mas estas ficam em terceiro lugar no saldo da balança comercial brasileira (AMAZÔNIA, 2015), informações que reiteram o grande potencial brasileiro na área florestal.

Dados da Consultoria de Negócios Florestais Pöyry informam que, em meio à crise econômica brasileira, em 2015, o setor florestal brasileiro teve um bom desempenho e a aposta é que o negócio florestal continue mantendo seu PIB positivo, mas ainda abaixo do seu potencial, já que alguns dos negócios relacionados a madeira inevitavelmente são influenciados pelo ambiente de negócios nacional. A indústria da celulose por produzir uma

commodity, em períodos de crise e dólar em alta, vive um bom momento já que toda variação cambial gera valor. Há a previsão, da consultoria Pöyry, de um aumento de produção de 3,7 milhões de m³ de madeira até 2020 (ENERGÉTICO, 2016)

O Brasil tem lançado políticas favoráveis para o setor florestal: em 11 de dezembro de 2014, o Decreto N° 8.375 institui a Política Agrícola para Florestas Plantadas que define o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) como responsável pelo Plano Nacional de Desenvolvimento de Florestas Plantadas. Este plano fará o diagnóstico, inventário, proposição de cenários, tendências internacionais e macroeconômicas, metas de produção florestal e ações para o seu alcance, facilitando assim a previsão do mercado e dados mais verossímeis para futuros investimento (AMAZÔNIA, 2015).

Segundo o Ministério de Minas e Energia a lenha, em geral, ocupa a quarta posição em uma tabela que contextualiza a matriz energética atual relacionando o consumo final de energia por fonte. Os dados da Tabela 1, do ano de 2011, mostram que a geração de energia de lenha neste ano foi de cerca de 10,28% do consumo total no ano (SANTOS, FERNANDO; COLODETTE, JORGE; QUEIROZ, 2013)

Tabela 1: – Consumo final de energia do Brasil. Adaptado de (SANTOS, FERNANDO; COLODETTE, JORGE; QUEIROZ, 2013)

Fontes	10 ³ tep*	(%)
Derivados de petróleo	106.439	41,99
Produtos de cana	48.852	19,27
Hidráulica	34.680	13,68
Lenha	26.071	10,28
Gás natural	22.714	8,96
Outras fontes	10.813	4,27
Carvão vapor	2.161	0,85
Urânio	1.767	0,70
Total - fontes primárias	253.497	100

*tep - Tonelada equivalente de petróleo

Diante do potencial florestal brasileiro exposto, surge a necessidade da gestão dos resíduos florestais que, devido ao alto volume e à dinâmica desta indústria, são gerados em grandes escalas e muitas vezes dispostos em próprio campo para a adubagem do solo.

Em uma análise mais geral, WIECHETECK (2009) afirma que há dois fins principais, representados na Figura 1, para os resíduos florestais: fins energéticos

(combustão direta e incineração, gaseificação, briquetagem/pelletização, pirólise) ou para produtos florestais/madeireiros (reutilização, reciclagem, produto de maior valor agregado – PMVA - carvão, cabos, briquete, embalagem) (WIECHETECK, 2009)(WIECHETECK, 2009)(WIECHETECK, 2009).

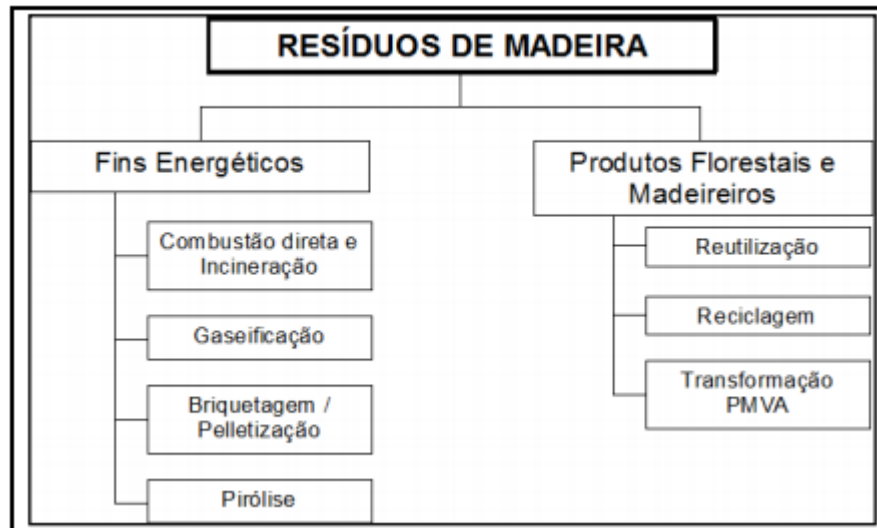


Figura 1: Esquema do destino dos resíduos de madeira Fonte (WIECHETECK, 2009)

Wiecheteck ainda alerta: “A geração excessiva de resíduos de madeira associada ao seu baixo aproveitamento resulta em danos ambientais, além de perda significativa de oportunidade para a indústria, comunidades locais, governos e sociedade em geral, especialmente em regiões remotas, dependentes de fontes energéticas externas”.

No âmbito deste trabalho analisaremos os processos térmicos que podem ser aplicados aos resíduos florestais a fim de gerar, além de poder calorífico por si só, produtos de maior valor agregado. A possibilidade de dar um destino sustentável aos resíduos gerando, com este processamento, produtos químicos de valor e insumos para as mais variadas aplicações é o que motiva este trabalho.

1.2 Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é a avaliação dos processos já existentes de gestão dos resíduos florestais, estudando suas vantagens e desvantagens e a possibilidade de uma alternativa aos processos atualmente empregados, verificando o potencial e a viabilidade econômica, principalmente sobre o processo da pirólise rápida. Este trabalho inclui alguns dados da empresa CMPC Celulose Rio Grandense, cedidos ao autor em visita técnica.

1.3 Estrutura do trabalho

O Capítulo 1 trata sobre a justificativa e os potenciais identificados nas tecnologias de reaproveitamento de resíduos florestais que impulsionaram a realização deste trabalho.

O Capítulo 2 trata da revisão bibliográfica das tecnologias de aproveitamento dos resíduos florestais, passando por briquetagem, peletização, combustão e pirólise (o foco deste trabalho). Há também uma sucinta descrição do eucalipto e das três principais espécies cultivadas no estado do Rio Grande do Sul.

O Capítulo 3 descreve o potencial florestal do Brasil de modo geral, suas principais vantagens de produção e rotatividade perante outros países do mundo, situa o estado do RS no âmbito nacional, seu histórico e perspectivas. As informações da visita técnica ao Horto Angico da CMPC Celulose Rio Grandense, na cidade de Arroio dos Ratos, também são analisadas.

O Capítulo 4 mostra os resultados obtidos pela pirólise rápida, na bibliografia, do *Eucalyptus globulus*, comparação entre os resultados da pirólise das folhas em separado e também os métodos de separação para possível isolamento dos compostos de interesse.

O Capítulo 5 analisa os principais mercados, da perspectiva estratégica do Brasil, que poderiam absorver esses produtos gerados e combater o déficit ou ampliar setores não muito proeminentes na atualidade: diminuindo a dependência de importações.

Por fim, o Capítulo 6 conclui os resultados obtidos pelas análises de mercado, sugere estudos mais aprofundados sobre as aplicações e sobre os próprios mercados com o maior potencial estudado.

2 Revisão Bibliográfica

O interesse mundial em bioenergia tem aumentado desde as últimas décadas: a finitude dos principais recursos que a humanidade utiliza, as frequentes oscilações do preço do petróleo, o compromisso com a redução das emissões de carbono e inúmeras outras preocupações atuais têm gerado uma insegurança energética (SANTOS, FERNANDO; COLODETTE, JORGE; QUEIROZ, 2013), e essa migração aos recursos renováveis tem se mostrado uma boa opção.

Este capítulo tem a finalidade de revisar as tecnologias de processamento dos resíduos do eucalipto, dando uma atenção maior à tecnologia da pirólise.

2.1 Processos termoquímicos, briquetagem e *peletização*

Para um uso racional dos recursos como a biomassa, em questões de aproveitamento energético, existem algumas características e índices de qualidade que avaliam se um tipo de biomassa é melhor ou pior para certo tipo de processamento e a quantificação e a inter-relação entre estes índices é o que sugere o uso proveitoso e eficiente desta biomassa. Dentre estes parâmetros se pode destacar a densidade, a composição química (conjunto de moléculas que compõe a substância) e composição química elementar (percentagem de elementos que compõe a substância: C, H, O, N), os componentes inorgânicos, os extrativos, celulose, hemicelulose, lignina e o teor de umidade.

São apresentadas a seguir as principais tecnologias de processamento de resíduos florestais atualmente empregados em âmbito nacional e internacional, a abordagem visa a definição dos processos, seus principais usos e objetivos.

2.1.1 Briquetagem e *peletização*

Os processos de briquetagem e de *peletização* são processos de densificação energética através da plastificação da lignina (elemento aglomerante das partículas de madeira), melhorando a eficiência energética, transporte e armazenamento dos resíduos. Em outras palavras: consistem na compactação dos resíduos sólidos transformando-os em combustível sólido. Todo o resíduo vegetal pode ser insumo para estes processos, bastando atender a granulometria, percentagem de lignina e teor de umidade.

A principal diferença entre a *peletização* e a briquetagem são os tamanhos dos produtos finais: os *pellets* possuem dimensões entre 6 mm e 16 mm enquanto o briquete

possui dimensões a partir de 50 mm (Figura 2), sendo o processo de peletização bem mais exigente e seletivo (LIPPEL, [s.d.]), porém, muitos consideram os *pellets* miniaturização dos briquetes



Figura 2: Briquetes.

No Brasil há várias fábricas de briquetes e o uso desse combustível é amplo: pode ser usado em padarias, cerâmicas, pizzarias ou mesmo em residências. A elevada densidade dos *pellets* e a baixa umidade permitem que se tenha elevada concentração de energia em pequeno volume e, além disso, os *pellets* podem ser produzidos com recursos de várias fontes de matérias prima (florestal e agrícola principalmente).

A produção do *pellet* consiste em triturar a biomassa, formando cavacos que são secos até um teor de umidade abaixo de 15%. Posteriormente, os cavacos são moídos e a serragem prensada em *peletizadoras* (SANTOS, FERNANDO; COLODETTE, JORGE; QUEIROZ, 2013).

2.1.2 Combustão direta e incineração

A combustão é a técnica mais comum de aproveitamento de biomassa: consiste em misturar oxigênio em quantidades estequiométricas ou maiores do que a quantidade necessária para a combustão completa da biomassa. Pode ser explicada simplificada como o processo de oxirredução entre um combustível e um comburente gerando calor, luz, fumaça e gases. A matéria é oxidada a temperaturas que chegam até 1500 °C e os principais produtos gerados são água e dióxido de carbono (RAYMUNDO, 2016). É energia química dos constituintes da reação transformada em calor.

Por definição, combustível é toda substância que, reagindo com o oxigênio, é capaz de liberar energia térmica, podendo ser sólido, líquido ou gasoso e classificado como fóssil (extraído da natureza) ou artificial (obtido através de processos tecnológicos). As propriedades que afetam o processo da combustão, além da composição química elementar dos combustíveis são: poder calorífico, umidade, densidade, teor de materiais voláteis, cinzas e a granulometria do combustível (SANTOS, FERNANDO; COLODETTE, JORGE; QUEIROZ, 2013). A Tabela 2 apresenta a composição química elementar de alguns dos combustíveis mais comuns na indústria.

Tabela 2: Composição química elementar de alguns combustíveis. Fonte: adaptado de (SANTOS, FERNANDO; COLODETTE, JORGE; QUEIROZ, 2013).

Elementos (%)	Combustíveis				
	Óleo diesel	Querosene	Carvão mineral	Carvão vegetal	Madeira (base seca)
Carbono (C)	86,0	85,6	52,3	74,5	50,2
Hidrogênio (H)	13,1	14,3	3,7	3,0	6,3
Oxigênio (O)	-	-	9,6	17,0	43,1
Enxofre (S)	0,9	0,1	0,5	0,5	-
Nitrogênio (N)	-	-	0,9	1,0	0,1
Inorgânicos	-	-	32,5	4,0	0,4

Os principais dispositivos para a queima da biomassa florestal são as fornalhas, queimadores pirolíticos e caldeiras, cada qual com sua vantagem e diferentes aplicações na indústria que se utiliza de biomassa florestal para a geração de calor e energia.

2.1.3 Gaseificação

O processo termoquímico da gaseificação é um processo que permite a conversão de um combustível sólido em um gás através da combustão subestequiométrica - ou seja, a quantidade de ar fornecida para a queima é geralmente entre 25-30% da quantidade estequiométrica, mas suficiente para a decomposição térmica - que produz monóxido de carbono, hidrogênio, metano, dióxido de carbono e nitrogênio. Esse processamento produz gases que têm potencial para a substituição do gás natural ou Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) e, além disso, esse gás produto pode ser utilizado como gás de síntese para a produção de hidrocarbonetos sintéticos (gasolina e diesel) através da síntese Fischer Tropsch (SANTOS, FERNANDO; COLODETTE, JORGE; QUEIROZ, 2013).

Existem muitos tipos de gaseificadores, porém, os mais usados e difundidos são os gaseificadores de leito fixo, leito fluidizado e de leito arrastado e, em especial, os gaseificadores de leito fluidizado podem ser divididos e classificados de acordo com o fluxo dos reagentes: contracorrente, co-corrente e fluxo cruzado. Os tipos de fluxo têm vantagens e desvantagens em termos de qualidade do gás, como por exemplo: o teor de alcatrão.

Os gaseificadores foram muito utilizados em veículos durante a Segunda Guerra Mundial; devido a carência de combustíveis fósseis. Uma das definições empregadas no processamento para a gaseificação é de gás pobre (quando o agente utilizado para a gaseificação é o ar), de baixo poder calorífico, ordem de 5MJ/Nm³ ou ainda chamado “gás de síntese” quando o agente de gaseificação é vapor ou oxigênio, gerando um gás com maior poder calorífico, da ordem de 10 a 19 MJ/kg (SANTOS, FERNANDO; COLODETTE, JORGE; QUEIROZ, 2013).

2.2 Pirólise

A pirólise consiste na decomposição térmica da matéria orgânica sob vácuo ou sob uma atmosfera inerte. É um processo de conversão térmica de oxi-redução que rompe as ligações carbono-carbono e implica na formação das ligações carbono oxigênio: uma parte da biomassa é reduzida a carbono enquanto outra parte da mesma é oxidada e hidrolisada, gerando fenóis, carboidratos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos. Estes produtos se combinam entre si gerando ésteres e polimerizando – já que sob a ação de elevadas temperaturas ocorre a decomposição das substâncias orgânicas gerando radicais livres e hidrocarbonetos saturados que reagem em processos de isomerização, condensação, polimerização, etc. (ROCHA; TECNOLOGIA, 2004).

Pode-se considerar a gaseificação, a pirólise e a carbonização – também conhecida como pirólise lenta – variações de um mesmo processo. A pirólise por si tem a vantagem de proporcionar produtos em forma líquida (cerca de 75 % na pirólise rápida) (ROCHA; TECNOLOGIA, 2004) que exhibe inúmeras vantagens como transporte, armazenamento, uso como fonte de energia e possibilidade de extração de produtos químicos através de processos de separação subsequentes (BRIDGWATER, 2012).

O líquido pirolítico (também conhecido como bio-óleo, óleo de pirólise, óleo de madeira, destilado da madeira, etc.) varia sua composição e o seu rendimento (como mostrado na Tabela 3) segundo a tecnologia empregada para a sua obtenção – pirólise

rápida, carbonização ou gaseificação. As características físico-químicas da biomassa e a sua fonte também são fatores que influenciam no rendimento e características do líquido obtido.

A proporção das substâncias com maior (pirólise lenta) e menor (pirólise rápida) peso molecular provocam características diferenciadas no bio-óleo como a viscosidade, que dependendo da aplicação (por exemplo, combustível) pode ser uma dificuldade para o desempenho. Os óleos leves, produzidos principalmente pelo processamento da pirólise rápida, são muito atrativos na atualidade e, além disso, podem ser separados em frações gerando diversos produtos de interesse comercial (ROCHA; TECNOLOGIA, 2004).

Tabela 3: Rendimentos dos produtos típicos por diferentes formas de pirólise da madeira (adaptado de Bridgwater, 2012)

		Líquido	Carvão	Gás
Pirólise Rápida	Temperatura de processo moderada (450 - 550°C), curtos tempos de residência dos vapores e biomassa (<2s) com baixa granulometria	75%	12%	13%
Carbonização	Baixas temperaturas (400-450°C), curtos tempos de residência (pode ser de horas ou dias, partículas grandes)	30%	35%	35%
Gaseificação	Alta temperatura (900°C), longos tempos de residência	5%	10%	85%

De uma maneira geral, o bio-óleo na sua forma crua é uma mistura de água com complexos orgânicos ricos em oxigênio tais como álcoois, ácidos orgânicos, éteres, ésteres, aldeídos, cetonas, fenóis e etc. É um líquido viscoso, de odor pungente e cor marrom escuro, seu poder calorífico é, geralmente, abaixo de 20 MJ/kg, a densidade entre 1100-1300 kg/m³ (pirólise rápida) e o pH geralmente entre 2-3 (WANG, 2013).

Conhecendo-se os principais constituintes da biomassa - celulose, hemicelulose e lignina (associadas às estruturas de parede celular das plantas) - pode-se resumir as principais famílias de produtos gerados através da decomposição pirolítica destes três principais componentes (ROCHA; TECNOLOGIA, 2004). Segundo Rocha, a mistura de compostos com diferentes graus de polaridade e solubilidade não apresenta produto principal e seu aproveitamento só é factível classificando-os em família de compostos como apresentado na Figura 3.

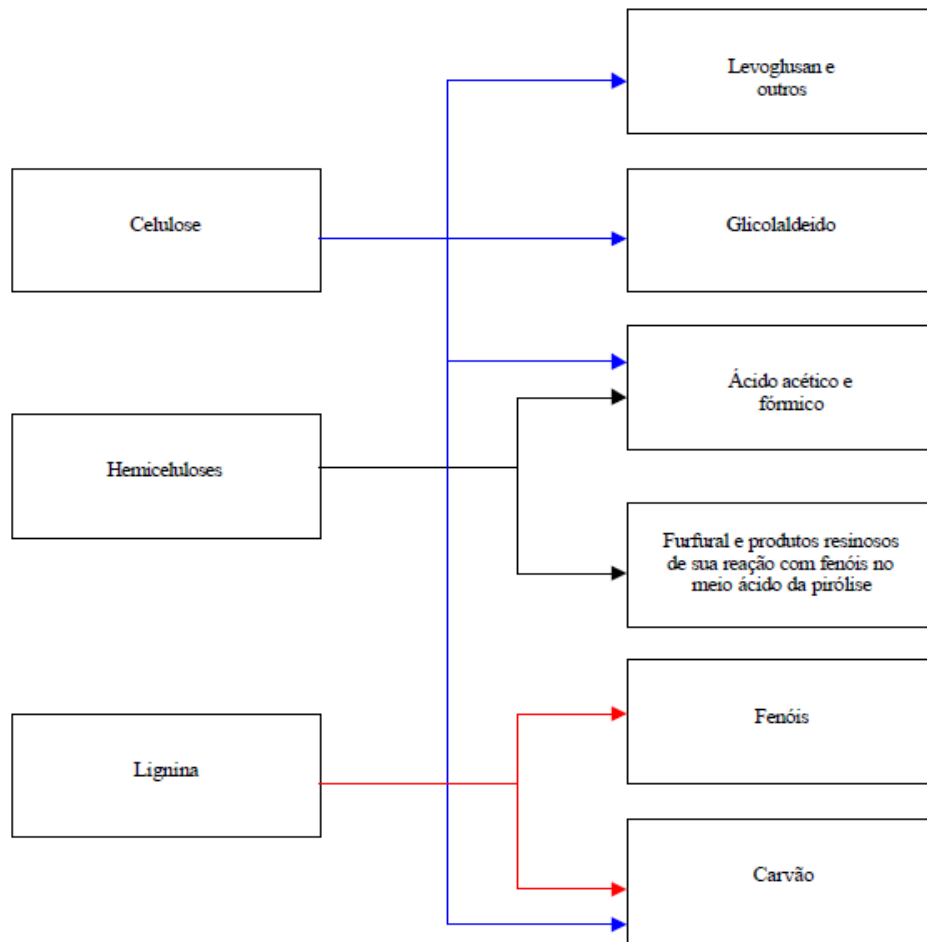


Figura 3: Produtos gerados pela pirólise, derivados dos principais componentes estruturais da biomassa. Fonte: (ROCHA; TECNOLOGIA, 2004)

Além de potencial combustível - já que o bio-óleo é uma mistura complexa de compostos orgânicos que, embora com diferentes características quando comparado ao petróleo, é considerado um petróleo de origem vegetal (ROCHA; TECNOLOGIA, 2004) – o bio-óleo pode passar por processos de separação (químicos e físicos) em que podem ser isolados deste líquido, substâncias de grande interesse na indústria. Rocha, no seu estudo, elabora um fluxograma simplificado da separação do bio-óleo em diferentes frações, representado Figura 4.

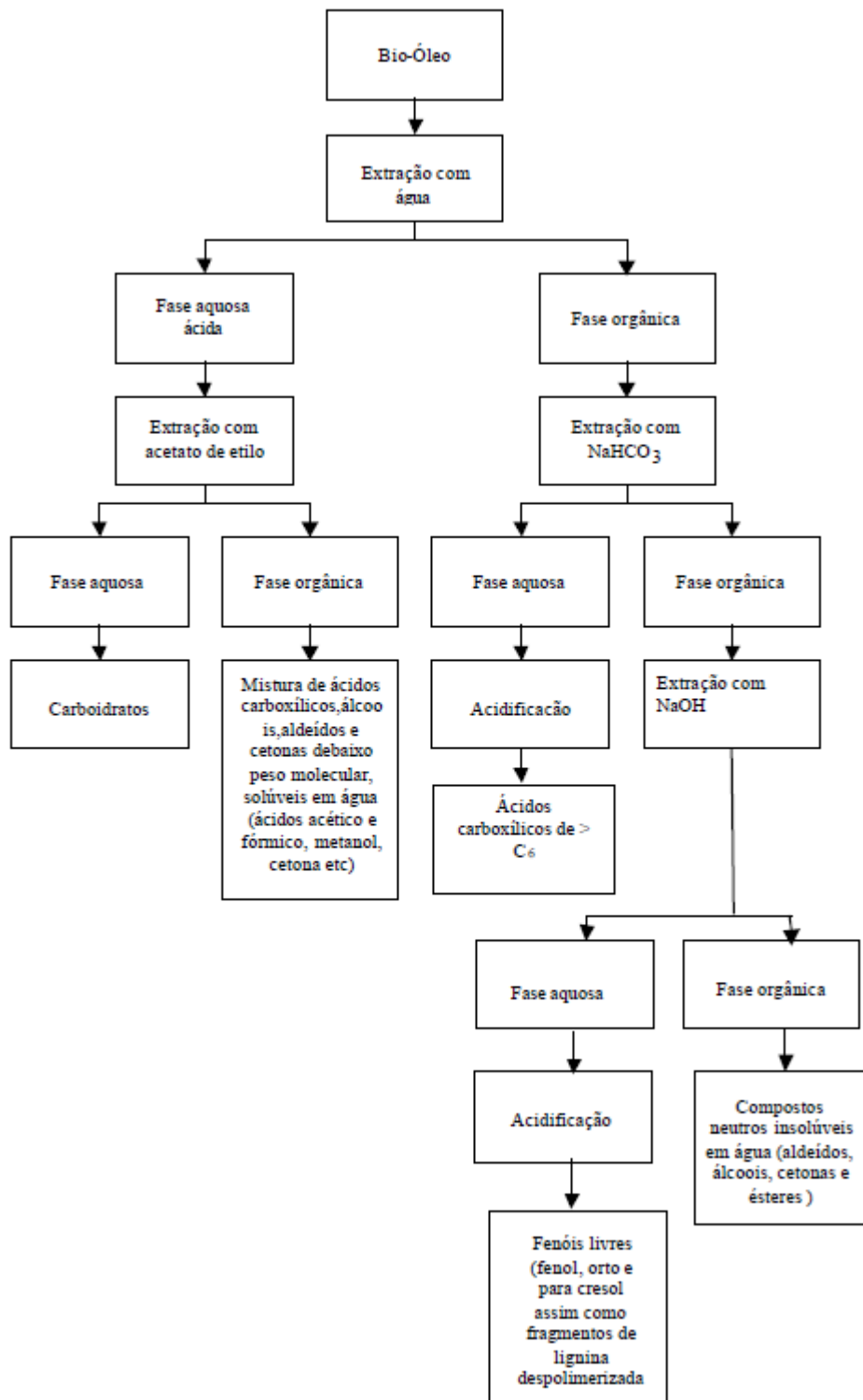


Figura 4: Esquema de separação do bio-óleo em diferentes frações.
Fonte: (ROCHA; TECNOLOGIA, 2004)

A Figura 5 mostra um fluxograma de separação do bio-óleo mais aplicado a um processo industrial de refinaria, visando aproveitar os produtos do líquido obtido da pirólise. Percebe-se o grande potencial deste líquido e tem-se uma visão dos segmentos da indústria que seriam beneficiados com os insumos gerados.

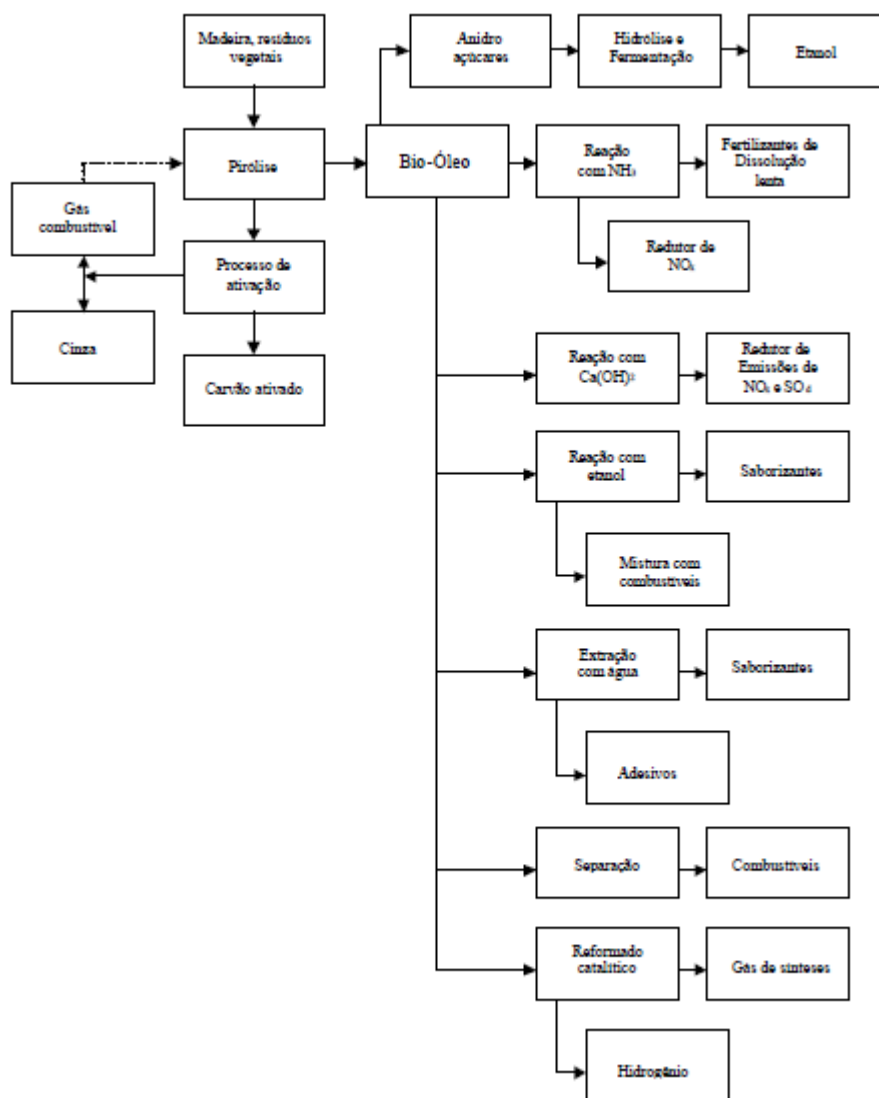


Figura 5: Fluxograma simplificado de uma hipotética refinaria de bio-óleo. Fonte: (ROCHA; TECNOLOGIA, 2004)

2.2.1 Pirólise Lenta

Também conhecida como carbonização, este é o processo mais antigo de pirólise; o qual teve início na civilização egípcia e era o meio de produção do carvão vegetal para o uso em habitações sem a geração de muita fumaça. Consiste em queimar a madeira em ambientes fechados, produzindo um combustível sólido preto e friável que libera pouca fumaça e gera calor mais intenso que a própria madeira (ROCHA; TECNOLOGIA, 2004).

No Brasil, a ampla difusão da produção do carvão vegetal deve-se aos fornos de alvenaria, Figura 6, que são construídos de tijolos comuns e são rejuntados com barro; pela sua simplicidade, o controle dos parâmetros de processo não é nem um pouco rigoroso, porém nas indústrias siderúrgicas, alguns dos fornos são mais modernos e possuem até um sistema de recuperação de voláteis.

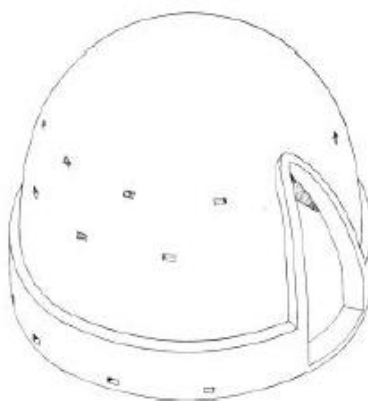


Figura 6: Esquema de um forno de alvenaria simples (retirado de UNIFEI, 2004)

O custo de um forno de alvenaria varia de R\$ 150,00 até R\$ 700,00, dependendo do tipo de forno utilizado, suas dimensões – que implicam na capacidade - e entradas de ar (ROCHA; TECNOLOGIA, 2004). No quesito rendimento, estes fornos têm um rendimento em massa que oscila de 25% a 30%, com um tempo de residência de 5 a 6 dias. Em termos de operabilidade, geralmente, a pirólise lenta é realizada em baterias de 20 a 60 fornos simultaneamente visando otimizar a produção do carvão vegetal. Estas unidades produzem até 6.000 t/ano de carvão vegetal e, se o forno possuir sistema de recuperação de voláteis, é possível produzir até 720 t/ano de alcatrão (ROCHA; TECNOLOGIA, 2004).

2.2.2 Pirólise Rápida

Os estudos com o método da pirólise mostram que o maior rendimento da fase líquida é obtido quando o reator opera com elevadas taxas de aquecimento, moderadas temperaturas finais e curtos tempos de residência (visando minimizar as reações secundárias entre os produtos).

Com o interesse mundial em buscar potenciais produtos líquidos que possam substituir combustíveis derivados do petróleo, pela sua elevada densidade energética, a sua obtenção a partir de resíduos agroindustriais e a possibilidade de isolar produtos químicos de interesse comercial, a pirólise rápida tem se mostrado um método de grande relevância (ROCHA; TECNOLOGIA, 2004).

Segundo Bridgwater, este bio-óleo primário, obtido diretamente da pirólise rápida, pode ser utilizado como (ROCHA; TECNOLOGIA, 2004 apud BRIDGWATER, 1996):

1. Combustível direto (substituição do óleo combustível);
2. Fonte para a posterior obtenção de químicos específicos (separação);

3. Fonte de obtenção de hidrocarbonetos (diesel, gasolina) para posterior aprimoramento (processos de hidrogenação catalítica, desoxigenação, etc).

O processo da pirólise rápida pode ser descrito resumidamente como um método no qual se converte biomassa sólida em biomassa líquida através de um processo em que a biomassa a ser pirolisada se decompõe muito rapidamente (temperatura controlada na faixa de 400 a 600 °C, na ausência de oxigênio) gerando água, aerossóis e vapores orgânicos em alta quantidade. Após esse tempo curto de reação os produtos são rapidamente resfriados e condensados e a reação é encerrada (RAYMUNDO, 2016). A Figura 7 mostra o processo simplificado da pirólise rápida:

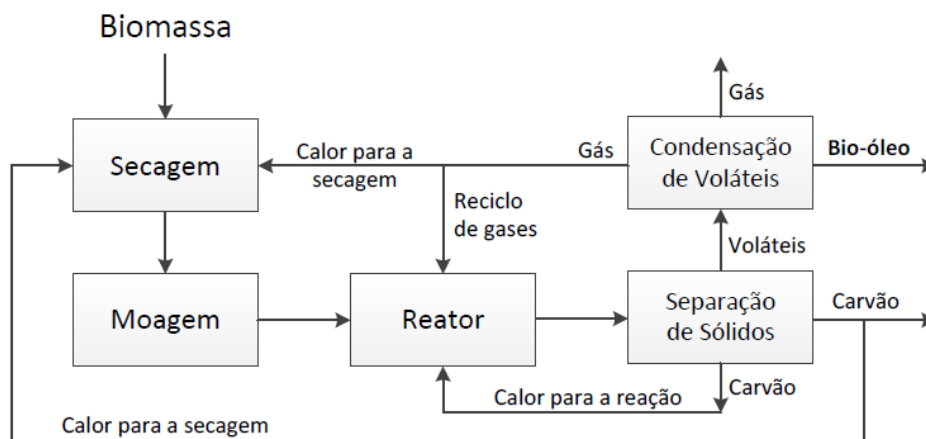


Figura 7: Fluxograma de blocos de um processo de pirólise rápida. (Fonte: Espindola, 2014)

Os reatores utilizados para a pirólise rápida, principais e mais tradicionais, são listados a seguir:

1. Leito fluidizado (borbulhante e circulante)
2. Reator de prato rotativo
3. Reator de cone rotativo
4. Reator de vórtice
5. Reator de pirólise a vácuo

sendo a tecnologia mais amplamente utilizada a do reator de leito fluidizado borbulhante (ROCHA; TECNOLOGIA, 2004).

2.3 Eucalipto

As espécies do gênero *Eucalyptus* são as mais plantadas do mundo devido à sua capacidade de adaptação, crescimento rápido e produtividade. Originárias da Austrália, as variadas espécies desse gênero – atualmente mais de 600 espécies descritas – podem atingir até 100 m (*Eucalyptus regnans*). A maioria das espécies, entretanto, varia entre 10 a 50 metros (FLORES, 2009).

Sua ampla diversidade em relação às necessidades climáticas e condições ambientais fazem deste gênero um atrativo para as produções comerciais de madeira, porém um dos fatores climáticos limitantes é a ocorrência de geadas – um grande número de espécies pode sofrer danos com temperaturas do ar menor que 0°C.

As principais espécies, comuns no Rio Grande do Sul, são *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii* e a *Eucalyptus globulus*, sendo esta última, espécie cujo interesse vem aumentando no estado por suas características favoráveis à indústria do papel.

A espécie *Eucalyptus grandis* é de origem do Sul da Austrália, ocorrendo desde o nível do mar até 600 m de altitude. A maior área plantada, incluindo-se os híbridos formados pelo *Eucalyptus grandis* está no Brasil, mas também é plantada em países da África, Ásia e América

A espécie *Eucalyptus dunnii* é identificada em áreas com índices pluviométricos anuais entre 1000 mm a 1750 mm, chuvas geralmente concentradas no verão (mas nenhum mês com este índice abaixo de 40 mm). Preferindo solos úmidos e férteis, também cresce em solos sedimentares com boas condições de drenagem, embora prefira solos basálticos. No RS tem se destacado pelo rápido crescimento e uniformidade dos talhões, forma das árvores e resistência às geadas.

A espécie *Eucalyptus globulus* é plantada em regiões de clima ameno e livres de ocorrência de geadas (temperaturas do ar menores que 6 °C) e sem déficit hídrico severo. No Brasil esta espécie foi experimentada em vários estados, com resultados insatisfatórios que foram atribuídos às condições climáticas desfavoráveis ao seu desenvolvimento. No entanto, existe grande interesse nessa espécie e nos seus híbridos já que essa madeira é amplamente utilizada na indústria de papel e celulose (FLORES, 2009).

3 Caracterização e o mapeamento dos resíduos de eucalipto no Rio Grande do Sul

Este capítulo apresenta uma visão breve das condições atuais do Rio Grande do Sul no âmbito nacional, o comparativo utiliza de dados nacionais para o diagnóstico do RS e seu potencial quando comparado com outros estados. Também apresenta os dados da visita técnica ao Horto Angico da empresa CMPC Celulose Rio Grandense, a qual possui cerca de 226.338 ha de área de suprimento de madeira no estado (136.370 ha de área plantada e 89.968 ha de vegetação nativa), distribuídas em 724 hortos, abrangendo 40 municípios.

3.1.1 Caracterização no estado do Rio Grande do Sul e no Brasil

Dados do relatório anual da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ) de 2015 dizem que a área total de árvores plantadas no Brasil corresponde a 7,8 milhões de hectares, um crescimento de aproximadamente 0,8% em relação ao ano anterior. Os plantios de eucalipto, por sua vez, correspondem a 5,6 milhões de hectares e, nos últimos cinco anos, o crescimento da área plantada de eucalipto foi de 2,8% a.a (dado representado na Figura 8). Os plantios de pinus (gênero de pinheiro competitivo com o eucalipto) ocupavam em 2015 cerca de 1,6 milhões de hectares, mas nos últimos anos a área plantada desse gênero vem caindo à uma taxa de 2,1% ao ano (a.a) cedendo seu espaço para o eucalipto (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2016).

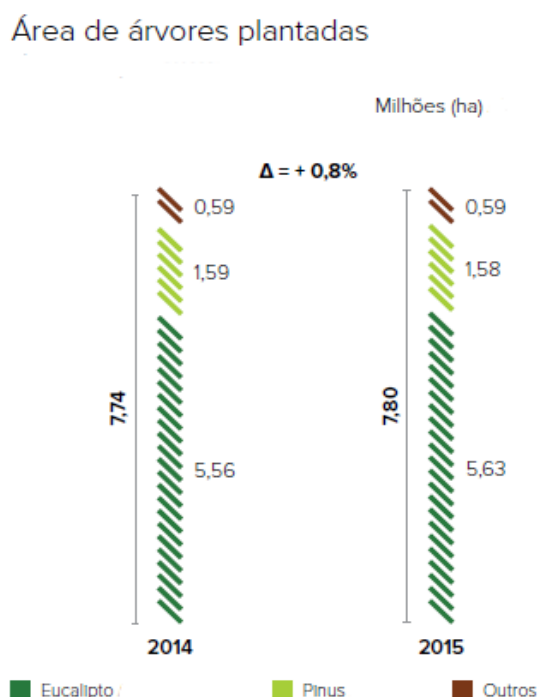


Figura 8: Crescimento da área plantada de eucalipto entre 2014 e 2015. Adaptado de (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2016)

O Brasil é reconhecido mundialmente pela sua alta produtividade (volume de madeira por área por ano) das florestas plantadas – é líder no ranking global de produtividade - e pela sua baixíssima rotação (tempo entre o plantio e colheita) comparada com os outros países do mundo. Esses resultados e altos índices se devem aos investimentos intensivos e contínuos de empresas interessadas em aprimorar o setor florestal (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2016).

Analisando a Figura 9, percebemos que a produtividade brasileira de eucalipto passa de 35 m³/ha.ano, superando o segundo lugar – a China – que tem produtividade abaixo de 30 m³/ha.ano, uma diferença considerável levando em conta a área de produção necessária para resultados semelhantes (o Brasil precisaria de uma área cerca de 15% menor para a mesma produtividade do segundo lugar do ranking). Em termos de rotatividade, o tempo de plantio e colheita no Brasil é abaixo de 10 anos (média 7 anos) enquanto outros países como o Canadá chegam a ter rotatividades maiores do que 30 anos.

Produtividade e rotação média de árvores no Brasil *versus* outros importantes players mundiais

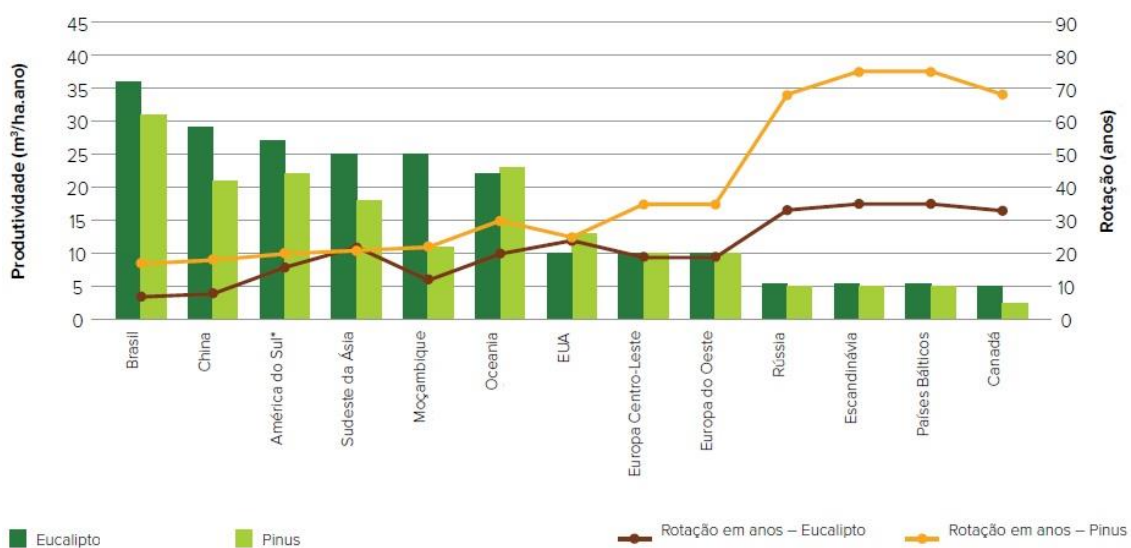


Figura 9: Gráfico relacionando a alta produtividade e baixa rotatividade do Brasil. Fonte: (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2016)

Segundo a Associação Gaúcha de Empresas Florestais (AGEFLOR), o setor florestal no Rio Grande do Sul existe há mais de 100 anos e o cultivo do eucalipto começou a ser implementado, pronunciadamente, no estado a partir de 1930 para utilização como dormentes das estradas de ferro e abastecimento das locomotivas para a Viação Férrea do RS. Em 1953, a Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) começou a plantar o eucalipto para produção de postes, porém o cultivo em escala comercial das florestas no RS começou em 1928, com a acacicultura (AGEFLOR, [s.d.]).

Quando comparado com os dados brasileiros, percebe-se através da Figura 10, que o RS é o estado com a sexta maior área plantada de eucalipto no país atualmente.

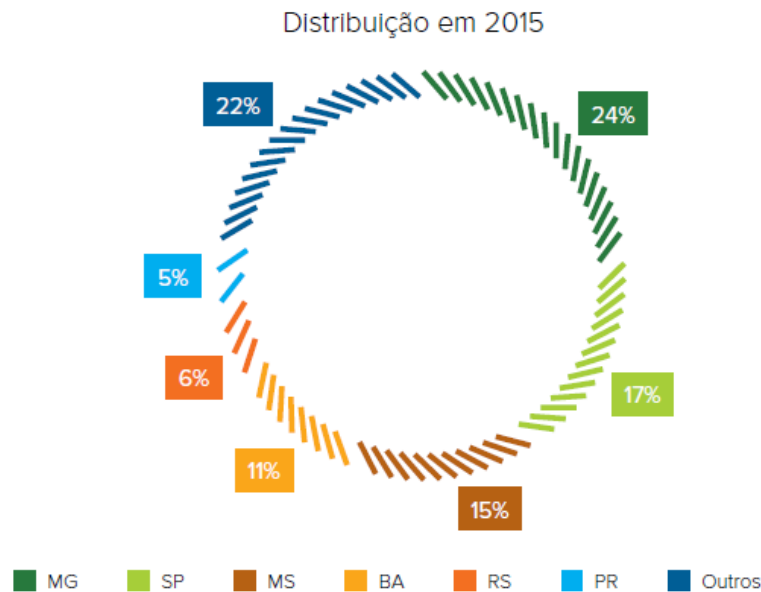


Figura 10: Distribuição da área com plantios de eucalipto no país adaptado: (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2016)

O mapeamento, cedido gentilmente pela CMPC Celulose Rio Grandense, Figura 11, mostra as principais áreas de cultivo e suprimento de madeira da empresa no Rio Grande do Sul e as suas conexões com as principais vias do estado, conhecimento estratégico quando pensando em logística.

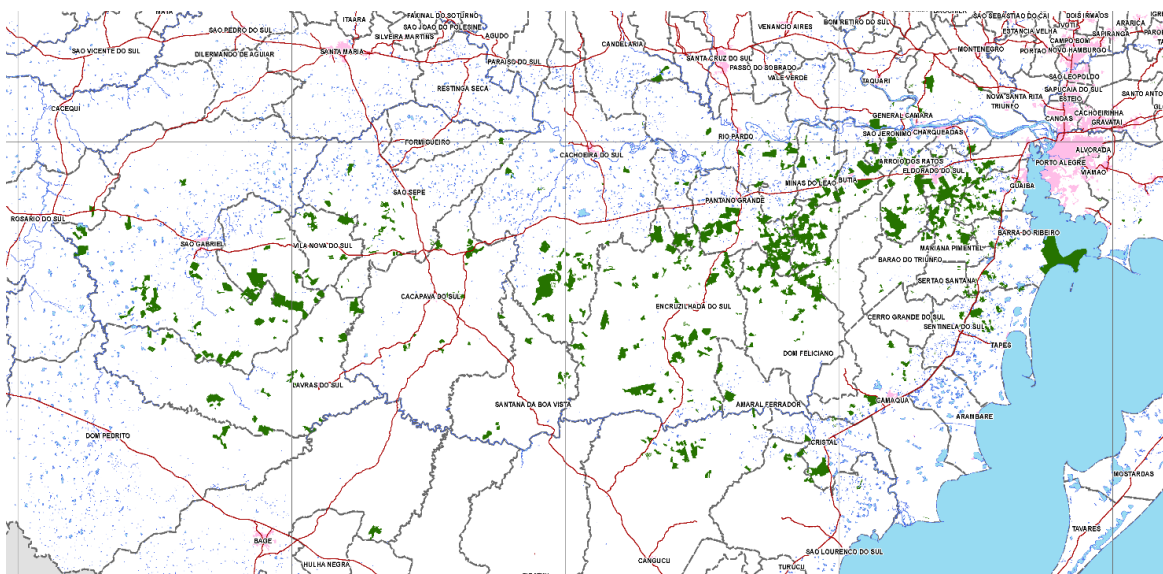


Figura 11: Mapeamento feito pela CMPC Celulose Rio Grandense das suas principais áreas de cultivo do eucalipto e as principais vias do estado

Por ser uma indústria relativamente nova, levando em conta sua produção em escala comercial iniciada em 1928, percebe-se que o Rio Grande do Sul, vem em uma relativa crescente expansão de áreas plantadas de eucalipto a partir de 2001, Figura 12. Dados de 2013 afirmam que o RS possuía cerca de 700 mil hectares de florestas plantadas (2,5% do território do estado), o dobro da área existente em 2001, sendo a espécie mais plantada o eucalipto.

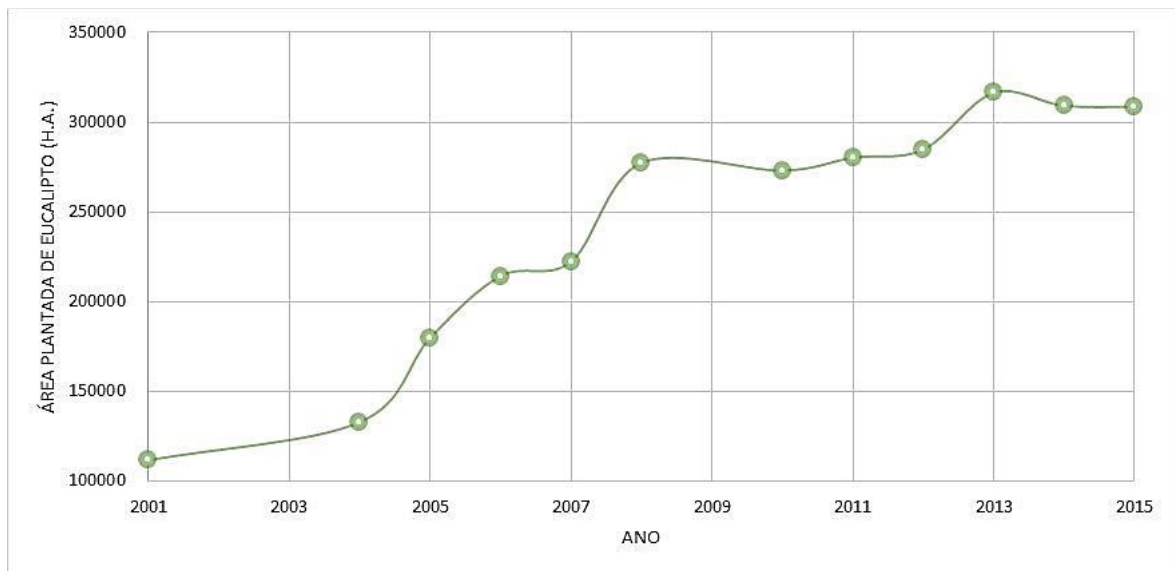


Figura 12: Expansão das áreas plantadas de eucalipto no estado do RS (adaptado pelo autor) – Fontes: (AGEFLOR, 2016; INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2016)

Entretanto, o maior desafio, apresentados os dados favoráveis econômicos e geográficos, são as condições climáticas do estado. A ocorrência de geada no estado do RS é um dos principais fatores que restringem a produção agrícola e florestal, afetando principalmente as mudas de eucalipto: evita-se o plantio entre os meses de abril a outubro, quando as geadas são mais fortes (FLORES, 2009).

A ocorrência de déficit hídrico compromete também as plantas nessa fase de muda, constituindo-se também como um fator de risco. A melhor época para a plantação das mudas à campo aberto é a partir de setembro e, nos primeiros meses de transplanto, o eucalipto fica exposto a estiagens prolongadas (decorrente da distribuição irregular de chuvas nessa época do ano) fazendo muitas das mudas serem replantadas (FLORES, 2009).

O estado do RS apresenta uma grande variação sazonal de temperaturas (verões quentes e invernos rigorosos) com a temperatura média anual variando entre 15 e 18 °C (mínimas absolutas de -10 °C e máximas absolutas de 40 °C). Em relação aos índices pluviométricos, em geral o RS apresenta bastante equilíbrio na ocorrência de chuvas ao longo do ano, porém há volumes diferenciados de média pluviométrica nas regiões do

estado, como por exemplo no Norte do estado o índice varia entre 1600 e 1900 mm e no Sul os índices anuais estão entre 1200 e 1600 mm (FLORES, 2009).

3.1.2 Visita técnica à CMPC Celulose Rio Grandense

Em visita técnica à empresa CMPC Celulose Riograndense – realizada no Horto Angico (76 ha), Arroio dos Ratos, no dia 22/08/2016 – estimou-se que aproximadamente 23% de uma árvore de eucalipto vira resíduo: casca (12%), folhas (5%) e galhos (6%). Em outra perspectiva, estimativa dada pela engenheira Iara Borges, cada hectare gera cerca de 9,8 m³ de resíduo, em média. O Horto Angico, em especial, por ter menor eficiência do que outros hortos (devido ao método de cultivo em que há mais de duas hastes por cepa), gera cerca de 17 m³ de resíduos por hectare, Figura 13.



Figura 13: Resíduos do corte de eucalipto no Horto Angico (foto obtida pelo autor)

A dinâmica de colheita é contínua, funciona 24h durante 7 dias por semana, operando em média com 3 *haversters* (equipamento de colheita do eucalipto) e 2 *fowarders* (equipamento que faz o empilhamento das toras), como ilustrado na Figura 14. O Horto Angico, por exemplo, produz cerca de 1500 m³ de eucalipto por dia, o que gera cerca de 45.000 m³ por mês de madeira viável para o comércio, descontando os resíduos - que totalizariam cerca de 13.000 m³/mês usando as estimativas mencionadas.



Figura 14: *Haverster* (à esquerda) e *Fowarder* (à direita) – foto obtida pelo autor

Este volume elevado de resíduos pode ser ainda maior uma vez que a tora tem que ser padronizada: os troncos devem ter no mínimo 3,5 m de altura (para facilitar a logística do transporte no caminhão) e no máximo 7 m (para facilitar o processamento posterior da tora e não travar o equipamento). As toras destoantes deste padrão são descartadas, gerando ainda mais resíduos. Conclui-se que a quantidade de resíduos de madeira gerada também está diretamente ligada à habilidade do operador da máquina de colheita, corte e empilhamento, para manter o padrão mencionado.

Segundo Borges, atualmente os resíduos gerados pelo *haverster* não têm destino (principalmente a madeira fora dos padrões), porém é importante que parte da biomassa fique na área (folhas e galhos), pois estas evitam o atolamento das máquinas – amortecimento – e servem de adubagem do solo, uma vez que a folha é um dos produtos orgânicos gerados que se decompõe mais facilmente.

Os resíduos da fábrica de corte (serragem e cavaco) já tem destino: são transformados em adubo e terra preta pela Empresa Vida que se localiza na cidade de Guaíba, RS, fundada pelo agrônomo e ambientalista José Antônio Lutzenberg. Porém a serragem e o cavaco também são de interesse como insumos da pirólise.

No Apêndice A e no Apêndice B, encontram-se as perguntas feitas à CMPC Celulose Rio Grandense e a foto da visita técnica, respectivamente.

4 Estimativa dos produtos oriundos da pirólise do Eucalipto

4.1 Produtos gerados

Tendo em vista que das três fases de interesse do processo da pirólise rápida, a de maior rendimento e acredita-se ser a mais promissora por suas inúmeras vantagens frente às outras fases, é a fração líquida do produto da pirólise: o bio-óleo. Uma análise, realizada por Amutio (Universidade do País Basco, Espanha), do líquido gerado através da pirólise dos resíduos (à 500 °C), em reator do tipo *Conical Spouted Bed Reactor* (CSBR), da espécie de eucalipto *Eucalyptus Globulus* (casca, galhos e folhas) apresenta os produtos apresentado na Figura 15 (AMUTIO et al., 2015).

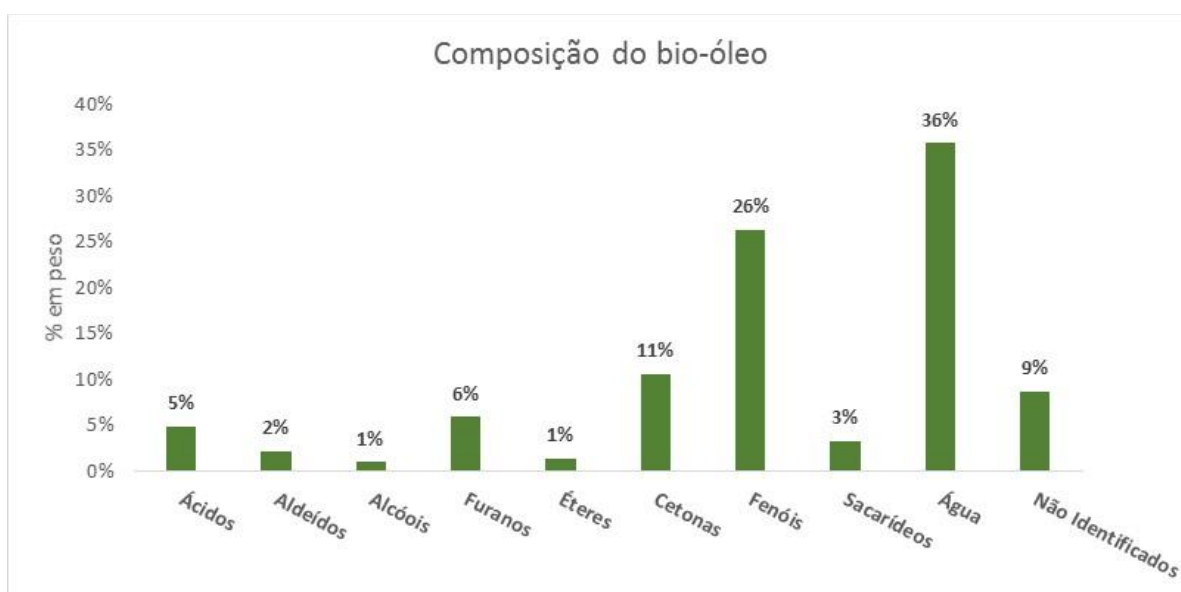


Figura 15: Composição do bio-óleo da pirólise do *Eucalypto globulus*. Adaptado de (AMUTIO et al., 2015).

Com os dados de Amutio é possível segregar, conforme a Tabela 4, para uma análise posterior mais apurada, os principais compostos encontrados na análise do bio-óleo e a partir destes compostos verificar as suas aplicações e os segmentos de mercado em que se encaixam.

Tabela 4: Compostos identificados no bio-óleo (AMUTIO et al., 2015).

Composto	Família	% em massa
1,2-benzenodiol	Fenóis (Catecol)	5,10%
Ácido acético	Ácidos	3,20%
Butirolactona	Furanos	2,80%
Hidroquinona	Fenóis (Catecol)	2,75%
2-hidroxi-3-metil-2-ciclopentano-1-um	Cetonas	2,70%
2-metóxi-fenol	Fenóis(Guaiacol)	2,25%
4-metil-1,2-benzenodiol	Fenóis (Catecol)	2,12%
Levoglucozan	Sacarídeos	2,07%
4-etil-1,2-benzenodiol	Fenóis (Catecol)	2,05%
Eucaliptol	Éteres	1,35%

Mourant et al (2011) apresentaram outros resultados mais específicos da pirólise rápida somente da folha da árvore de eucalipto da espécie *Malle*. Conclui-se que, de longe, o eucaliptol é o composto mais pronunciado na análise do bio-óleo gerado somente com as folhas: cerca de 30,31 mg/g de biomassa ou 3% em massa (base seca), mas também se destaca a presença de fenóis e do levoglucosana (MOURANT et al., [s.d.]), resultados estes que corroboram os obtidos por Amutio et al. (2015).

4.2 Separação dos compostos

Percebe-se que muitos desses compostos isolados são interessantes para diferentes segmentos da indústria. Os fenóis, por exemplo, são interessantes para a indústria de resinas e bactericidas, os ácidos orgânicos voláteis para a produção de descongelantes (geralmente utilizados em motores de carros), o levoglucosana na indústria farmacêutica, entre outros compostos que podem ser utilizados nas indústrias de fibra sintética, de fertilizantes e de flavorizantes para a indústria de alimentos (WANG, 2013 apud RADLEIN, 1999). Wang (2013) salienta a importância de um processo de separação efetivo do bio-óleo e comenta, em específico, sobre a separação para produzir um combustível de melhor desempenho já que o bio-óleo cru apresenta baixo poder calorífico, seus compostos oxigenados possuem baixa estabilidade e é altamente corrosivo (devido aos ácidos orgânicos presentes). Além disso, o bio-óleo cru é de difícil ignição já que possui uma grande quantidade de água a ser vaporizada (WANG, 2013).

Os processos mencionados por WANG (2013) vão desde os métodos tradicionais de separação de compostos como extração com solvente, cromatografia e destilação, até métodos mais modernos e complexos como a destilação molecular - que se baseia no princípio do caminho médio livre das moléculas em uma mistura - amplamente utilizada na indústria de químicos, farmacêutica e de alimentos, que necessitam de compostos com alta pureza.

Durante muitos séculos os líquidos pirolisados da madeira foram a maior fonte de químicos como o metanol, ácido acético, alcatrões, terebintina entre outros; porém, atualmente, estes mesmo produtos são isolados e obtidos de fontes mais baratas como gás natural, carvão ou óleo bruto (CZERNIK; AND A. V. BRIDGWATER, 2004).

Muitos dos mais de 300 compostos obtidos na pirólise dos resíduos de eucalipto se encontram como pequenas frações na composição, e, isolar apenas um composto específico dificilmente seria um processo viável economicamente já que requer

técnicas de separação complexas. No entanto, produtos químicos produzidos com pouca separação ou com as frações mais facilmente separáveis tem sido alvo de estudo e seus meios de obtenção desenvolvidos.

4.2.1 Químicos produzidos pela fração total de bio-óleo

Para converter toda a fração de bio-óleo em um químico útil deve-se levar em conta as características e propriedades das suas frações mais abundantes: os grupos carboxílicos, carbonílicos e fenólicos. O princípio desta aplicação é o uso em cenários nos quais haja a reação destes grupos principais e a parcela não reativa do bio-óleo não interfira nem interaja (a curto e longo prazo) com a parte reativa. Um exemplo é o BioLime, produto desenvolvido pela empresa canadense *Dynamotive Corporation* que tem o objetivo de remover até 98% dos SO_x dos gases de fumo e se mostra eficiente em destruir os óxidos de nitrogênio (S. CZERNIK; AND A. V. BRIDGWATER, 2004).

Outra aplicação interessante é a reação do bio-óleo com amônia ou uréia para a produção de um eficiente fertilizante biodegradável de liberação lenta, a base de nitrogênio, e que tem a vantagem de poluir menos os lençóis freáticos.

4.2.2 Químicos produzidos do fracionamento do Bio-óleo

Embora alguns outros métodos de purificação dos produtos derivados da lignina terem sido desenvolvidos, um método bastante simples de dividir o bio-óleo em duas frações é a adição de água: separando os compostos solúveis dos insolúveis. A fração aquosa dessa mistura é rica em aldeídos de baixo peso molecular que são utilizados na indústria de alimentos como "*meat browning agent*" via Reação de Maillard e compostos fenólicos responsáveis pelos "*smoky flavors*". Com base neste princípio, uma vasta gama de flavorizantes de comida é patenteada e comercializada pela *Red Arrow Products*, empresa do grupo irlandês Kerry Group (S. CZERNIK; AND A. V. BRIDGWATER, 2004)

A fração insolúvel em água, geralmente cerca de 25-30% do bio-óleo total, é rica em oligômeros originados da lignina. Esta fração também é denominada lignina pirolítica e, por ser mais barata e com menor toxicidade, é um composto atraente para o uso na indústria de adesivos, tanto que já é usado em empresas americanas e britânicas que se utilizam do bio-óleo para o comércio de seus derivados (S. CZERNIK; AND A. V. BRIDGWATER, 2004).

4.2.3 *Químicos específicos obtidos do bio-óleo*

Como já mencionado, a separação específica dos componentes presentes no bio-óleo exige processos complexos e frequentemente inviáveis economicamente, esses processos de separação, no entanto, não foram desenvolvidos para geração de produtos em grande escala, sendo um empecilho para indústrias que querem um grande volume de produção. Entre esses pode-se destacar: destilação molecular, separação por membranas, cromatografia, etc.

5 Potenciais mercados dos produtos gerados

5.1 Farmacologia

De acordo Pinto e Barreiro, o Brasil é um país com extremo potencial para a indústria químico-farmacêutica, principalmente com o fortalecimento de parcerias Público Privadas e a lei que estabelece os fármacos genéricos (n° 9787/99). Porém, atualmente a maioria das empresas limita-se a formular e embalar os princípios ativos que são importados principalmente da China e da Índia (PINTO; BARREIRO, 2013).

Um grande empecilho da indústria farmacêutica no Brasil, segundo Pinto e Barreiro, também é o fato de que esbarramos em políticas de governo, burocracia, falta de iniciativa dos empresários e da academia em investir e formar profissionais para a pesquisa e desenvolvimento (P&D) das empresas. Entretanto, o setor farmacêutico é um dos mais rentáveis em escala global e tem um ótimo potencial no Brasil, como percebe-se na Figura 16 (PINTO; BARREIRO, 2013).

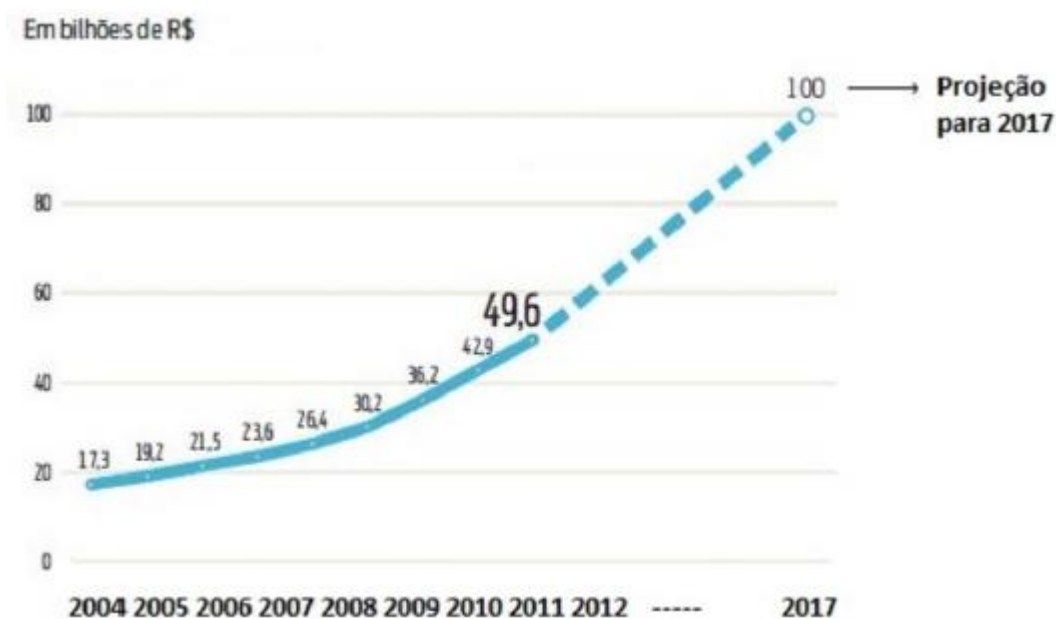


Figura 16: Faturamento do setor comercial de farmácias no Brasil
Fonte: (PINTO; BARREIRO, 2013))

Dos compostos obtidos pela pirólise dos resíduos do eucalipto, o levoglucosana (LGA) é um dos produtos de maior interesse na indústria farmacêutica. Em uma pesquisa realizada em 2004 pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, a LGA estava entre os 30 produtos químicos identificados como mais valiosos nas biorrefinarias, competindo com plantas que obtinham seus produtos derivados de óleo e gás não renováveis (EUREKALERT!, 2016).

OA levoglucosana é tão valiosa na indústria farmacêutica por ser um açúcar anidro com carbonos quirais que serve de base para a rota sintética de inúmeros compostos químicos biologicamente ativos como antibióticos e agentes antiparasitários. Sua principal desvantagem, porém, é a sua escala: consegue-se atualmente preparar apenas uma pequena quantidade de LGA relativamente puro com extensas e complexas técnicas de purificação, o que encarece o produto final (CHEN et al., 2016). Entretanto, esse produto é tão desejado que mesmo pequenas quantidades comercialmente disponíveis são vendidas com preços elevados (EUREKALERT!, 2016).

Em pesquisa recente, o *Wong Research Group (Rice University and China's Dalian Institute of Chemical Physics)* publicou um artigo na *Royal Society of Chemistry* sobre a técnica de seletividade e purificação do LGA (atingindo até 95% de pureza) com base em uma técnica de imobilização do anel - antes do processamento termoquímico da pirólise - que limita a formação de subprodutos, aumentando assim o rendimento do produto de interesse (CHEN et al., 2016). Wong acredita que sua tecnologia já tenha resolvido o “problema da pureza” e o novo desafio agora é a quantidade; além disso o LGA também pode ser utilizado na indústria petroquímica com ênfase na síntese de plástico verde (EUREKALERT, 2016).

5.2 Fertilizantes

Segundo o Banco Nacional de Desenvolvimento e Social (BNDES), o setor de fertilizantes no Brasil é um mercado estratégico para o país e sua relação com a produtividade das terras cultivadas está diretamente relacionada à economia nacional (COSTA, LETÍCIA MAGALHÃES DA; SILVA, 2012).

O Brasil, por ser um país de economia pronunciadamente agropecuária tem uma demanda alta por fertilizantes, atrás apenas de China, Índia e Estados Unidos no ranking mundial. No entanto, a produção interna de fertilizantes tem sido abaixo da demanda, o que faz as importações de fertilizantes se caracterizarem por cerca de 60% do consumo.

Esta alta dependência de fertilizantes importados põe o país sob as flutuações de câmbio correndo o risco da escassez dos insumos básicos. O próprio estudo do BNDES alerta para, estrategicamente, aumentar a produção interna de fertilizantes, reduzindo assim as importações e a dependência externa de insumos (COSTA, LETÍCIA MAGALHÃES

DA; SILVA, 2012). A Figura 17, retirada deste mesmo estudo, mostra que a utilização dos fertilizantes é um dos grandes agentes do aumento da produtividade das áreas cultivadas.

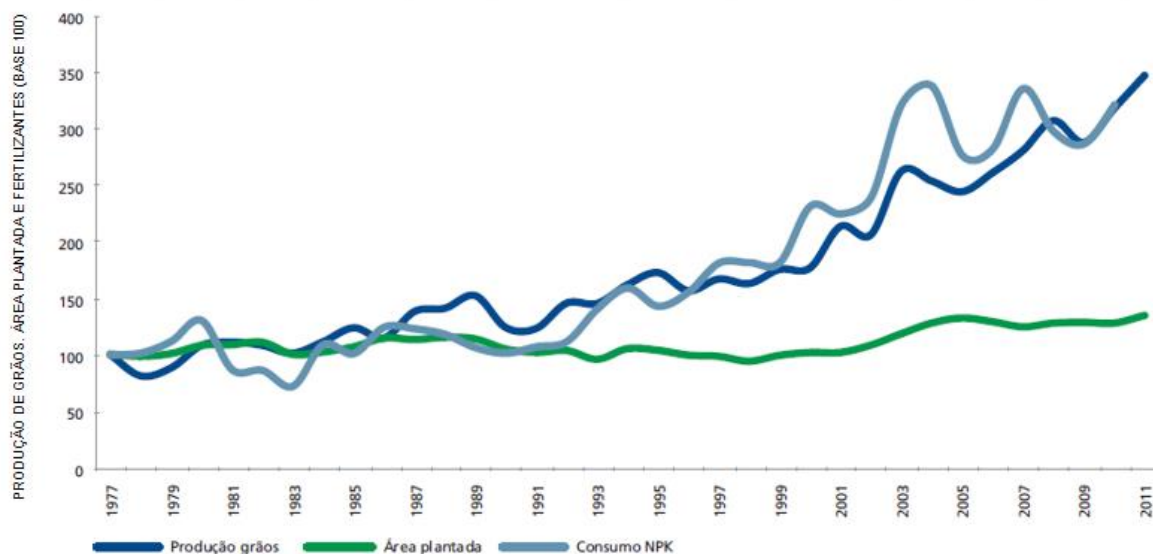


Figura 17: Relação dos fertilizantes (em toneladas) com a área plantada (em hectares mil) e a produção de grãos (em toneladas mil).

Fonte: (COSTA, LETÍCIA MAGALHÃES DA; SILVA, 2012)

Analisando o mercado mundial de acordo com os dados da *International Fertilizer Industry Association* (IFA), em 2010, cerca de 171 milhões de toneladas de nutrientes foram consumidos e, ainda de acordo com a IFA, no período de 2000 até 2010 o consumo mundial por fertilizantes cresceu 27%, o que equivale a uma taxa composta de praticamente 2% ao ano. Salienta-se que a taxa de crescimento de demanda por fertilizantes dos países China, Índia e Brasil tem se mostrado em torno de 4% a.a; superior à taxa dos Estados Unidos e superior a taxa de 2% a.a mundial mencionada anteriormente (COSTA, LETÍCIA MAGALHÃES DA; SILVA, 2012 apud IFA, 2012)

O mercado de fertilizantes brasileiro é equivalente a 6% do mercado mundial, contudo, a utilização de fertilizantes por hectare ainda é baixa comparando com países da Europa e a China. Este consumo depende principalmente da renda dos agricultores, influenciado pelo preço relativo dos fertilizantes, política agrícola, expectativa de preços e produção agrícola. A Figura 18 mostra a proporção de importação, produção e o consumo do Brasil ao longo da década de 2000 a 2010. Percebe-se uma elevação do patamar de consumo e uma taxa de importação sempre maior que produção, o que caracteriza o déficit deste mercado.

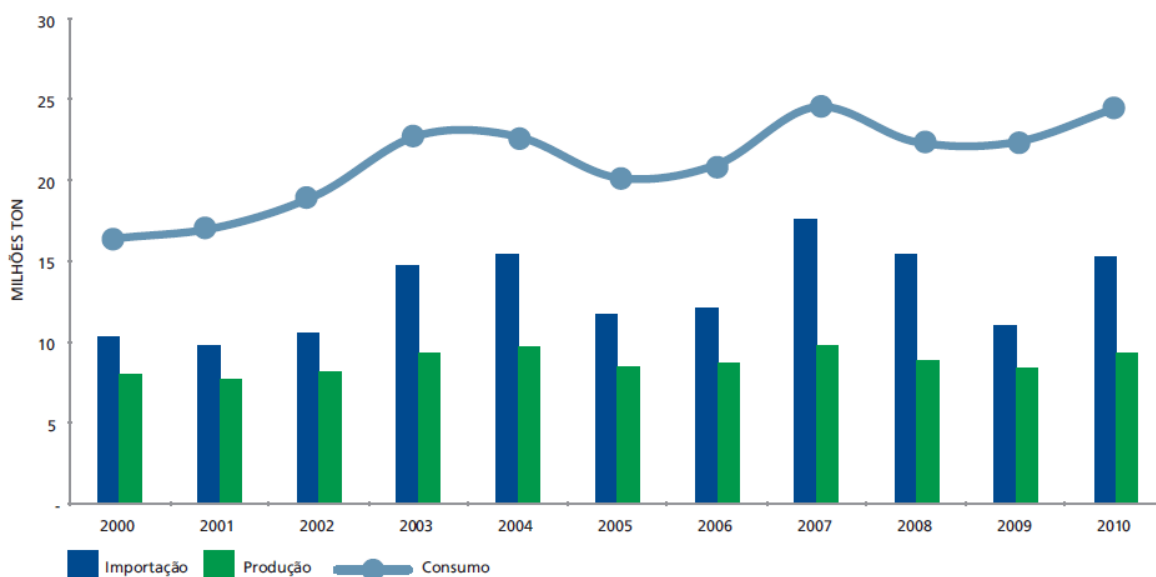


Figura 18: Importação, produção e consumo de fertilizantes por milhões de toneladas.
Fonte: (COSTA, LETÍCIA MAGALHÃES DA; SILVA, 2012)

A Figura 19 mostra que as principais regiões agrícolas do país são o Centro-Oeste e a região Sul, o que caracteriza um forte potencial de utilização de fertilizantes nessas regiões.

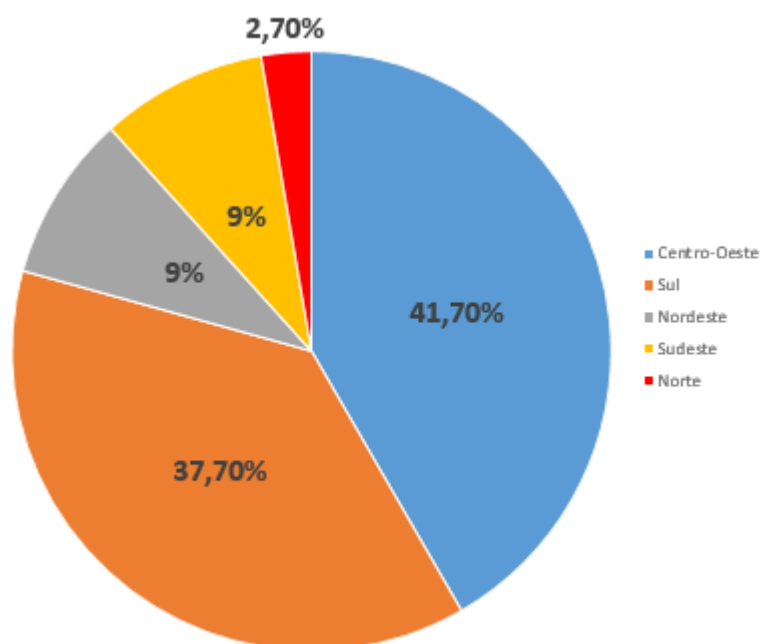


Figura 19: Produção agrícola por região (IBGE, 2014)

A Figura 20 ilustra o consumo nacional de fertilizantes discriminados por estado. Nota-se que o Rio Grande do Sul é o quarto maior consumidor do país que corrobora, com a figura anterior, o potencial de utilização de fertilizantes no estado do RS.

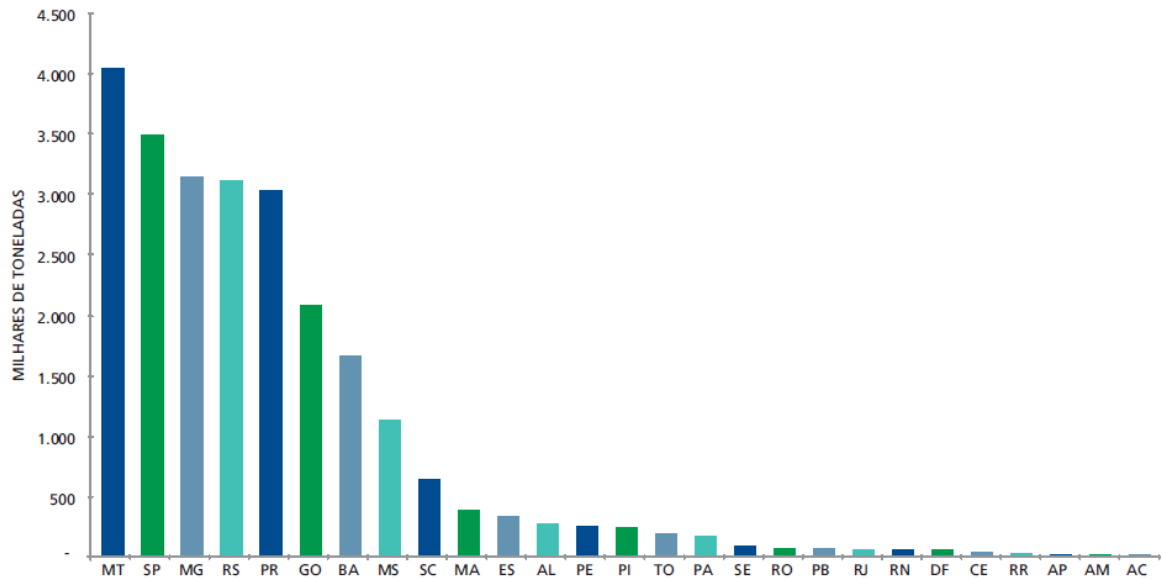


Figura 20: Consumo nacional de fertilizantes discriminado por estado (COSTA, LETÍCIA MAGALHÃES DA; SILVA, 2012).

Contextualizando, o bio-óleo tem um potencial de ser um fertilizante *slow-release* à base de nitrogênio, necessitando pouca separação (S. CZERNIK; AND A. V. BRIDGWATER, 2004). Estudos mais aprofundados sobre as características deste fertilizante gerado a partir do bio-óleo e seu impacto nos solos são necessários, mas esta aplicação já tem potencial de aderência no mercado.

5.3 Pesticidas

Não se pode falar sobre o aumento de produtividade por hectare só em função dos fertilizantes, reforçando o principal pilar da economia nacional: o setor agropecuário. O controle de pragas também é um fator limitante no desempenho de uma região produtiva e, a idealidade do mercado de pesticidas é o controle das pragas com agentes que não sejam nocivos à saúde, biodegradáveis, baratos e de fácil acesso; atualmente se caminha para um mundo cada vez mais sustentável.

A lei 7.802/1989 que regulamenta o uso de agrotóxicos em territórios nacional define-os como: “Os produtos e os agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou implantadas, e de outros ecossistemas e também de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos; assim como substâncias e produtos, empregados como desfolhantes, desseccantes, estimuladores e inibidores de crescimento.” (CIVIL, 1989).

Geralmente separados em três grupos (inseticidas, fungicidas e herbicidas), os agrotóxicos possuem leis que regulam fortemente o seu uso, já que, se a aplicação for feita de forma incorreta por desconhecimento ou negligência, podem ser nocivos à saúde

Em apresentação feita pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) sobre o mercado de agrotóxicos, destaca-se que o mercado de agrotóxicos é bastante centralizado, tendo (em 73% dos casos) os ingredientes ativos sendo ofertados por apenas uma empresa; sendo a principal origem destes agrotóxicos países como Índia e China.

Outro fato relevante abordado é que o crescimento por demanda de alimento (e de pesticidas) mundial é muito maior do que o aumento da área plantada (Figura 21), sendo projetado que em 2050 cada habitante do planeta (projeção de 9,15 bilhões de pessoas) teria para seu consumo uma área arável de 0,19 hectare.

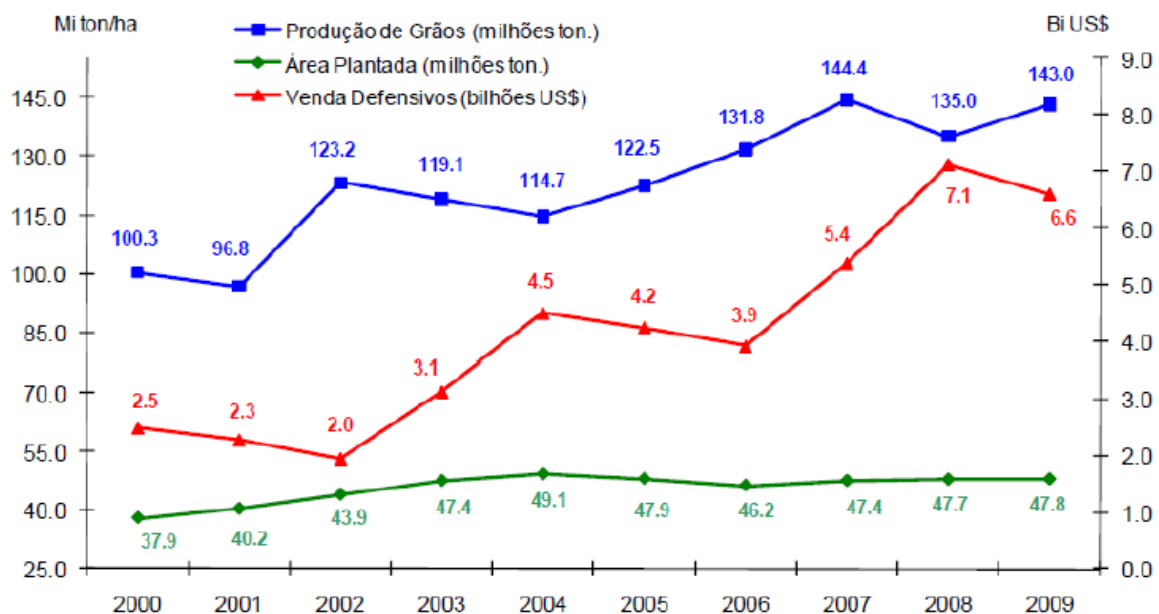


Figura 21: Relação entre a produção de grãos, defensivos agrícolas e área plantada nacional. Fonte (RANGEL, 2013).

O Eucaliptol em específico é um composto bastante estudado como pesticida: por ser de origem natural e com baixa toxicidade, é considerado um pesticida verde. Estudos recentes sobre a influência deste composto nas membranas de bactérias apresentaram um fato interessante: o efeito microbicida do extrato total do óleo de eucalipto (sem uma separação rigorosa) apresentou resultados muito melhores do que o eucaliptol isolado (HAÇ-WYDRO; SZYDŁO, 2016).

Klocke, Darlington e Balandrin (1987) reiteram o potencial do óleo de eucalipto como pesticida: afirmam que é um potencial repelente para mosquitos e moscas; também ressalta que é um ótimo repelente para impedir a procriação de mosquitos. Uma informação bastante importante já que o Brasil é um país tropical e tem surtos frequentes de doenças causadas por mosquitos (Ex.: Dengue pelo mosquito *Aedes aegypti*). Klocke alerta que estudos mais aprofundados sobre o uso seguro, eficiência, volatilidade e absorção cutânea do eucaliptol como pesticida devem ser realizados.

Por fim, o estudo da Embrapa de plantas pesticidas (realizado em 2004) esclarece que os produtos destinados ao controle de pragas, a base de óleos essenciais, já são comercializados, principalmente no exterior, e em geral são misturas de mais de um óleo. A principal desvantagem desse uso é a alta volatilidade, o que limita o tempo de ação destes pesticidas, porém, pesquisas já vem sendo realizadas para aprimorar essas características (SAITO, 2004).

5.4 Flavorizante/Aromatizantes na indústria de alimentos

Aromatizantes, em uma definição simples, são compostos naturais ou artificiais que dão aroma e sabor à produtos comestíveis (alimentos) ou odor aos produtos não comestíveis (perfumes, cosméticos, aromatizador de ambientes).

Por definição do IBGE, a indústria de alimentos “...compreende o processamento e transformação de produtos da agricultura, pecuária e pesca em alimentos para uso humano e animal” (BNDES, 2015). A indústria de flavorizantes é um ramo da indústria de alimentos e os seus produtos estão presentes em diversos exemplos do dia a dia como doces e balas, pães, sucos em pó, salgadinhos, sopas, etc.

O BNDES, em um levantamento de vinte panoramas setoriais e perspectivas de investimento entre 2015-2018, coloca a indústria de bebidas e de alimentos entre esses setores de planejamento estratégico do país, reforça o aumento da demanda interna e externa e faz a previsão de que no período de 2015-2018 serão investidos neste setor cerca de R\$ 49 bilhões de reais (BNDES, 2015).

A maior força neste setor são as marcas já consolidadas no Brasil, principalmente do ramo de carnes, e o mercado interno consumidor amplo e em expansão. Porém, a maior fraqueza do setor são as empresas brasileiras de pequeno porte que acabam sendo adquiridas por empresas estrangeiras maiores, anulando a possibilidade de investimentos nacionais em pesquisa e desenvolvimento (P&D) (BNDES, 2015).

No Brasil há tanto as empresas líderes, que tem porte suficiente para determinar seus preços, e as seguidoras, que são empresas menores que se utilizam de preços abaixo das líderes para a competição entre si. Essas empresas têm principal foco em manter o preço baixo de produção e matéria-prima porque custo é um fator importante neste tipo de concorrência; inovações com relação a redução de custos são preferíveis perante inovações com relação a produtos (BNDES, 2015).

Por ser gerado a partir de resíduos, se os aromatizantes obtidos através da separação do bio-óleo tiverem preços competitivos, pode ser um mercado interessante a ser estudado já que a redução de preço é característica crucial neste setor. Porém, por se tratar da indústria de alimentos, problemas como pureza e análises de toxicidade devem ser feitas cautelosamente.

6 Conclusões e Trabalhos Futuros

Visualizando os possíveis mercados que absorveriam os produtos gerados a partir da pirólise dos resíduos do eucalipto, nota-se um grande potencial. Em muitos dos mercados, a possibilidade de atenuar o déficit do mercado nacional, diminuindo a dependência com produtos importados e colaborando para uma economia mais estável a longo prazo, pode se tornar uma realidade.

Este trabalho não abrangeu todos os possíveis setores que seriam beneficiados com a tecnologia da pirólise rápida, pois o foco foi analisar os principais setores no plano estratégico do país.

No mercado de farmacologia nota-se um imenso potencial com um ótimo impacto e uma redução de dependência de produtos importados. Por se tratar de saúde, é um setor altamente estratégico para uma nação e, o seu custo tem uma ênfase maior em valor tecnológico agregado do que em quantidade produzida. Entretanto, para esse setor prosperar é necessário lidar com o alto custo em tecnologias novas como a do *Wong Research Group* (para aumentar o rendimento do precursor LGA), conflitos com políticas de governo e burocracias.

O mercado de fertilizantes já tem um aspecto mais interessante, lida com o fato de ser diretamente ligado ao principal pilar econômico nacional e qualquer redução de custo tem um impacto extremamente positivo por ser um setor que abrange grande área nacional. Por não precisar de um processo minucioso de separação e se encaixar na definição de fertilizante verde e sustentável, tem um ótimo potencial a ser explorado.

O potencial do mercado de pesticidas, assim como o mercado de fertilizantes, utiliza-se do fato de ser relacionado com o setor agropecuário. A aplicação do eucaliptol como pesticida já vem sendo estudada, porém pesquisas recentes identificaram que a sua eficácia não depende essencialmente de sua pureza (HAÇ-WYDRO; SZYDŁO, 2016).

Provavelmente há, nos produtos gerados por pirólise dos resíduos, outros compostos com potenciais de ser pesticidas, e, novamente, por ser gerado a partir de resíduos e (dependendo dos conjuntos de compostos a ser isolado) apresentar baixa toxicidade, pode ser considerado um pesticida verde. Novos estudos são recomendados para saber o grau de separação necessário e quais compostos são interessantes para essa aplicação.

Na indústria de alimentos, o cenário já não é muito favorável pois o mercado é bastante competitivo e o setor de pesquisa e desenvolvimento raramente fomenta-se.

Qualquer redução de preço e aumento de produção gera um fator competitivo interessante para as empresas secundárias, porém, por se tratar da indústria de alimentos: pesquisas relacionadas à toxicidade e riscos dos compostos na alimentação são necessárias, além de refinada separação.

Para concluir, a Tabela 5 mostra a análise realizada verificando a influência dos produtos gerados da pirólise rápida nos mercados mencionados sob os critérios de mercado atual, os desafios a serem enfrentados e o impacto nacional que essa melhoria resultaria. Por essa análise, realizada pelo autor e resumida no Apêndice C, percebe-se que os mercados mais promissores, seriam diretamente os mercados de fertilizantes e pesticidas e o mercado da farmacologia posteriormente.

SETOR	MERCADO	DESAFIO	IMPACTO NACIONAL
FARMACOLOGIA	✓	✗	✓
FERTILIZANTES	✓	●	✓
PESTICIDAS	✓	●	✓
FLAVORIZANTES	✗	✗	●

Tabela 5: Análise dos mercados nos três critérios de avaliação (✓ = bom, ● = moderado, ✗ = ruim)

Para consolidar esse estudo, seriam necessários mais testes com os resíduos de eucalipto da região do RS para identificar os compostos gerados pela pirólise rápida, métodos de aumentar a eficiência dos compostos de interesse e realização de experimentos para validar a eficácia em suas aplicações (ex.: testes de fertilizantes e pesticidas).

7 Referências

AGEFLOR. **Associação Gaúcha de Empresas Florestais - AGEFLOR**. Disponível em: <www.ageflor.com.br/dados>. Acesso em: 11 set. 2016.

AMAZÔNIA. **PIB DO SETOR FLORESTAL ATINGE USS 56 MILHÕES DE DÓLARES**. Disponível em: <<http://amazonia.org.br/2015/02/pibdosedetorflorestalatingeuss56milhoesdedolares/>>. Acesso em: 5 set. 2016.

AMUTIO, M. et al. Fast pyrolysis of eucalyptus waste in a conical spouted bed reactor. **Bioresource technology**, v. 194, p. 225–232, 2015.

BNDES. **Perspectivas do investimento 2015-2018 e panoramas setoriais**. Disponível em: <[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2842/7/Perspectivas do investimento 2015-2018 e panoramas setoriais_atualizado_BD.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2842/7/Perspectivas%20do%20investimento%202015-2018%20e%20panoramas%20setoriais_atualizado_BD.pdf)>. Acesso em: 11 set. 2016.

BRIDGWATER, A. V. Production of high grade fuels and chemicals from catalytic pyrolysis of biomass. **Catalysis Today**, v. n29, 1996.

BRIDGWATER, A. V. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. **Biomass and Bioenergy**, v. 38, p. 68–94, 2012.

CHEN, L. et al. Ring-locking enables selective anhydrosugar synthesis from carbohydrate pyrolysis. **Green Chem.**, v. 18, p. 5438–5447, 2016.

CIVIL, C. **LEI Nº 7.802, DE 11 DE JULHO DE 1989**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7802.htm>. Acesso em: 5 set. 2016.

COSTA, LETÍCIA MAGALHÃES DA; SILVA, M. F. DE O. E. **A indústria química e o setor de fertilizantes**. Brasil: [s.n.]. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/livro60anos_perspectivas_setoriais/Setorial60anos_VOL2Quimica.pdf>.

CZERNIK, S.; AND A. V. BRIDGWATER. Overview of Applications of Biomass Fast Pyrolysis Oil. **Energy & Fuels**, v. 18, n. 2, p. 590–598, 2004.

ENERGÉTICO, S. **CONTRIBUIÇÃO DO SETOR FLORESTAL PARA MANTER O PIB EM 2016 - SETOR ENERGÉTICO**. Disponível em: <<http://www.setorenergetico.com.br/sustentabilidade/contribuicaodosetorflorestalpode manterpibem2016/%0A11815/>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

EUREKALERT! **Rice University chemical engineers explore market for pure levoglucosan**. Disponível em: <https://www.eurekalert.org/pub_releases/2016-08/ru-ruc080816.php>. Acesso em: 29 out. 2016.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <www.fao.org/forestry/energy/en/>. Acesso em: 5 ago. 2016.

FLORES, C. A. A. J. M. F. M. S. **ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO DO EUCALIPTO PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL E EDAFOCLIMÁTICO NA REGIÃO COREDE SUL - RS**.

Pelotas, RS: [s.n.].

FLORESTAIS, S. N. D. I. **CADEIA PRODUTIVA**. Disponível em: <www.florestal.gov.br/snif/producao-florestal/cadeia-produtiva>. Acesso em: 25 ago. 2016.

HĄC-WYDRO, K.; SZYDŁO, K. The influence of environmentally friendly pesticide – Eucalyptol – alone and in combination with terpinen-4-ol – on model bacterial membranes. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 146, p. 918–923, 2016.

IBGE. **Produção agrícola por regiões**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2014/08/ibge.png/view>>. Acesso em: 2 nov. 2016.

IFA. **International Fertilizer Industry Association**. Disponível em: <www.fertilizer.org>.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **RELATÓRIO ANUAL IBÁ**. Brasil: [s.n.].

JUVENAL, T.; MATTOS, R. O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. **BNDES Setorial**, v. 16, p. 3–30, 2002.

KLOCKE, J. A.; DARLINGTON, M. V.; BALANDRIN, M. F. 1,8-Cineole (Eucalyptol), a mosquito feeding and ovipositional repellent from volatile oil of *Hemizonia fitchii* (Asteraceae). **Journal of Chemical Ecology**, v. 13, n. 12, p. 2131–2141, 1987.

LIPPEL. **TRANSFORMANDO RESÍDUOS DE BIOMASSA EM BRIQUETES E PELLETS**. Disponível em: <www.lippel.com.br/br/briquetagem-e-paletizacao.html>. Acesso em: 26 set. 2016.

MOURANT, D. et al. Fast Pyrolysis of Mallee Leaves : Yields and Characteristics of the Produced Bio-Oil. p. 1–8, [s.d.].

PINTO, A. C.; BARREIRO, E. J. Desafios da indústria farmacêutica Brasileira. **Química Nova**, v. 36, n. 10, p. 1557–1560, 2013.

RADLEIN, D. The production of Chemicals from Fast Pyrolysis Bio-oils. Fast Pyrolysis of Biomass: A handbook. **CPL Press, Newbury.**, 1999.

RANGEL, L. **Mercado de Agrotóxicos: Cenários e dinâmica operacional**. Brasil: [s.n.]. Disponível em: <<http://www4.planalto.gov.br/consea/biblioteca/documentos/mercados-de-agrotoxicos-cenarios-e-dinamica-operacional>>.

RAYMUNDO, L. M. **DESENVOLVIMENTO DE UMA PLANTA LABORATORIAL DE PIRÓLISE RÁPIDA EM LEITO FLUIDIZADO APLICADO À CASCA DE ARROZ**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2016.

ROCHA, J. D.; TECNOLOGIA, B. Curso “Energia na Indústria de Açúcar e Álcool”: Aspectos Teóricos e Práticos do Processo de Pirólise de Biomassa. **UNIFEI, Itajubá**, 2004.

SAITO, M. L. **AS PLANTAS PRAGUICIDAS: alternativa para o controle de pragas da agricultura**. Jaguariúna: [s.n.]. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Saito_plantasID-xWZZuffPN5.pdf>.

SANTOS, FERNANDO; COLODETTE, JORGE; QUEIROZ, J. H. **BIOENERGIA & BIOREFINARIA: cana-de-açúcar e espécies florestais**. 1ª ed. Viçosa, MG: [s.n.].

WANG, S. HIGH-EFFICIENCY SEPARATION OF BIO-OIL. **INTECH: open science, open minds**, 2013.

WIECHETECK, M. **APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E SUBPRODUTOS FLORESTAIS, ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS E PROPOSTAS DE POLÍTICAS AO USO DE RESÍDUOS FLORESTAIS PARA FINS ENERGÉTICOS**. Curitiba. PR: [s.n.].

8 Apêndice

8.1 Apêndice A

Questionário realizado com a engenheira florestal Lara Borges em visita técnica à CMPC Celulose Rio Grandense no dia 22/08/2016, no Horto Angico, Arroio dos Ratos, RS.

1. Quantidade de eucaliptos consumidos e/ou utilizados nas colheitas (ter uma ideia da produção mensal/semanal/diária)
2. Quantidade de resíduos gerados por eucalipto (uma porcentagem estimada do quanto do eucalipto vira resíduo). A porcentagem do resíduo que é folha, que é galho que é casca.
3. O que é feito atualmente com os resíduos gerados?
4. Existe uma porcentagem de resíduo que deve estar no solo para ser adubado? Quanto seria essa porcentagem?
5. O mercado atual do eucalipto, está expandindo? Há previsões? Quais os desafios atuais?
6. Qual a característica do resíduo à ser adubado para estar ali? (Ele poderia ser substituído pelo biochar?)
7. Onde são os locais de produção? Qual a quantidade produzida em cada local e distância percorrida até a usina?
8. Qual o tempo do plantio do eucalipto até a colheita?
9. O plantio e a colheita são feitos em qualquer época do ano?
10. Existe alguma outra etapa (talvez um desbaste ou algo assim) onde sejam gerados resíduos?

8.2 Apêndice B



Figura 22: da esquerda para direita, Lara Borges (Engenheira Florestal CMPC), Felipe Castro (autor), Lucas Raymundo (doutorando), Lara Brum (mestranda) e Vinícius Hoffmann (graduando)

8.3 Apêndice C

As análises de forças, oportunidades, fraquezas e ameaças de cada mercado, do inglês: análise de Strength, Weakness, Opportunity, Threats (SWOT), resumidas abaixo:

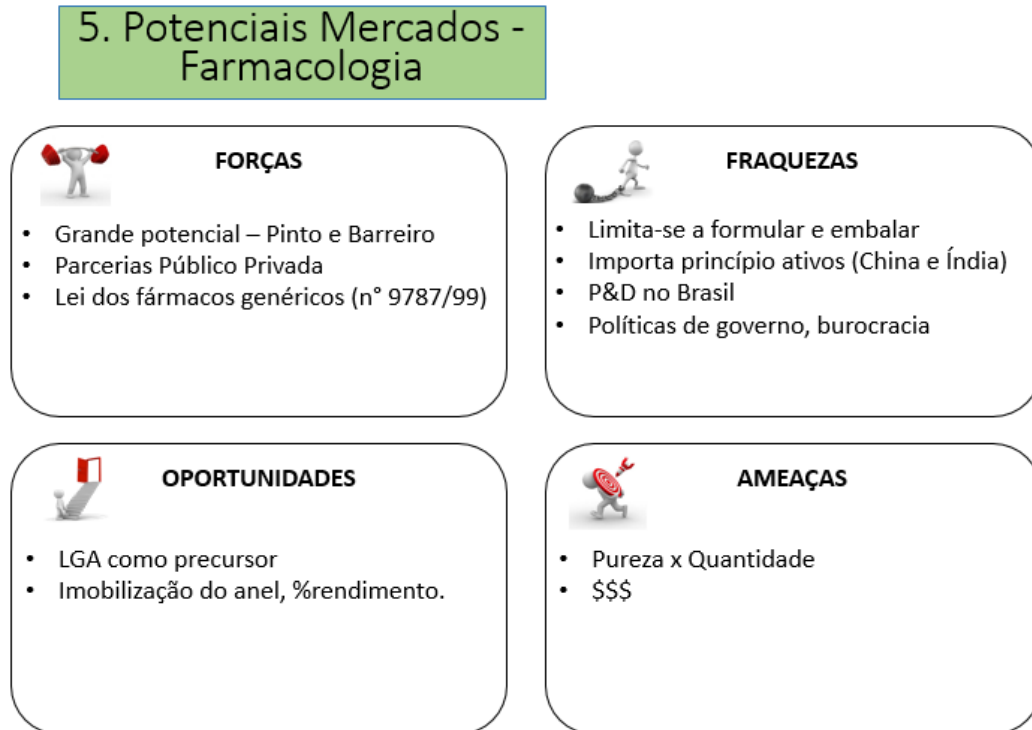


Figura 23: Análise SWOT do mercado de farmacologia

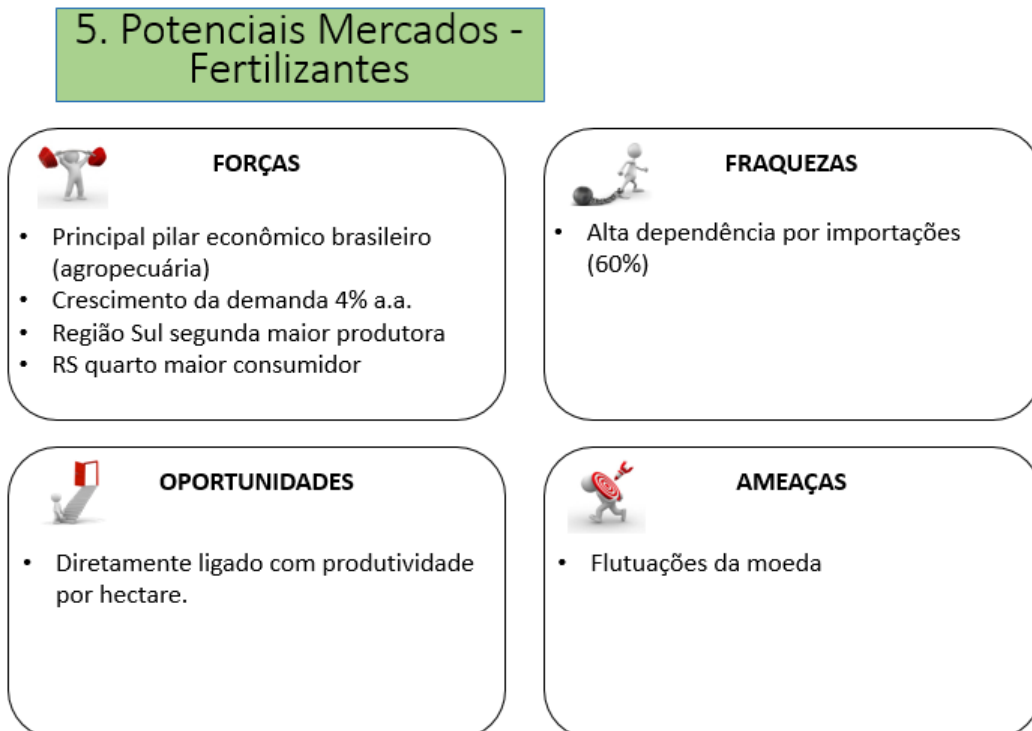


Figura 24: Análise SWOT do mercado de fertilizantes

5. Potenciais Mercados - Pesticidas

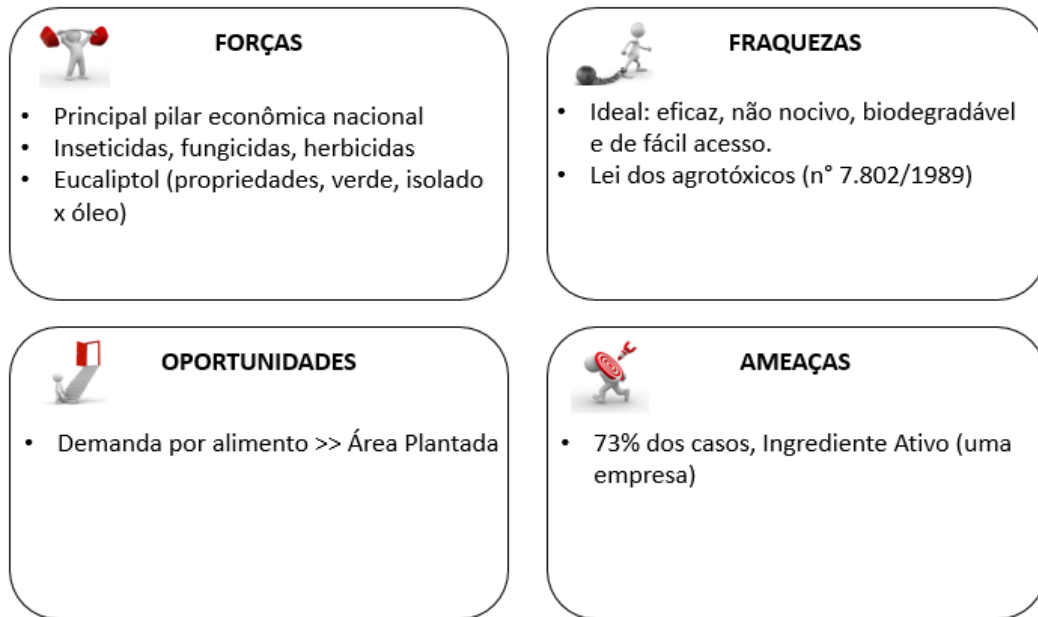


Figura 25: Análise SWOT do mercado de pesticidas

5. Potenciais Mercados - Flavorizantes

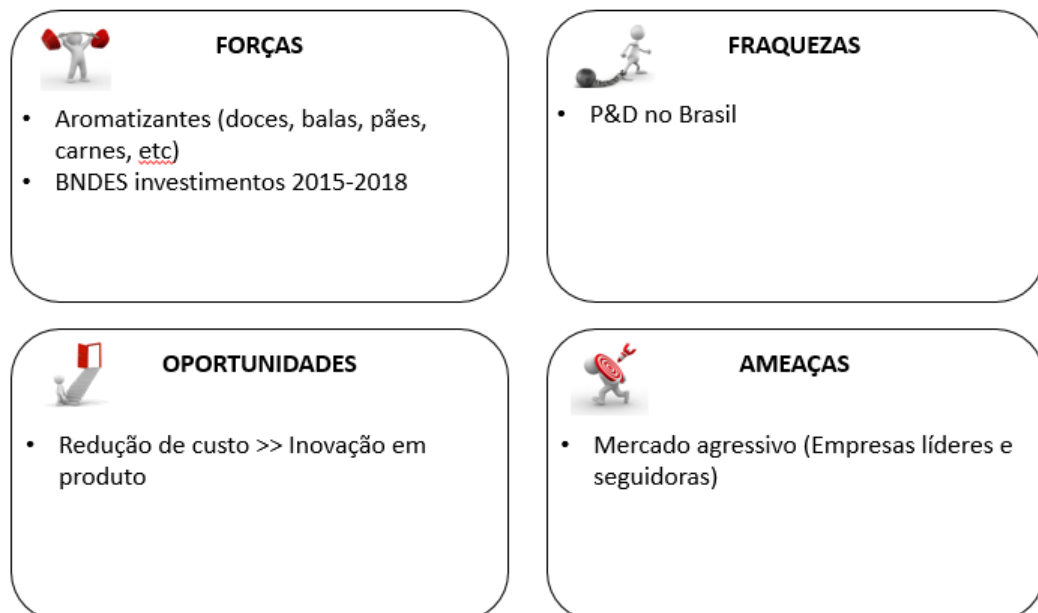


Figura 26: Análise SWOT do mercado de flavorizantes