

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**Carline Andréa Welter**

**USO DA BIOMASSA FLORESTAL COMO ESTRATÉGIA DE  
REDUÇÃO DOS GASES DE EFEITO ESTUFA: ESTUDO DE CASO  
NA FUMICULTURA DO SUL DO BRASIL**

Santa Maria, RS

2017

**Carline Andréa Welter**

**USO DA BIOMASSA FLORESTAL COMO ESTRATÉGIA DE  
REDUÇÃO DOS GASES DE EFEITO ESTUFA: ESTUDO DE CASO  
NA FUMICULTURA DO SUL DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Jorge Antonio de Farias

Coorientadora: Prof<sup>a</sup> Dra. Cristiane Pedrazzi

Coorientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Flávio Dias Mayer

Santa Maria, RS

2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Welter, Carline Andréa  
USO DA BIOMASSA FLORESTAL COMO ESTRATÉGIA DE REDUÇÃO  
DOS GASES DE EFEITO ESTUFA: ESTUDO DE CASO NA  
FUMICULTURA DO SUL DO BRASIL / Carline Andréa Welter.-  
2017.  
68 p.; 30 cm

Orientador: Jorge Antonio de Farias  
Coorientadores: Cristiane Pedrazzi, Flávio Dias Mayer  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2017

1. Bioenergia 2. Tabaco 3. Sustentabilidade I.  
Farias, Jorge Antonio de II. Pedrazzi, Cristiane III.  
Mayer, Flávio Dias IV. Título.

©

---

© 2017

Todos os direitos autorais reservados a Carline Andréa Welter. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Eugênio Mussói, nº753/512, Bairro: Urlândia, Santa Maria, RS. CEP: 97070-330  
Fone: (55) 999627-0535; E-mail: carlinewelter@gmail.com

**Carline Andréa Welter**

**USO DA BIOMASSA FLORESTAL COMO ESTRATÉGIA DE  
REDUÇÃO DOS GASES DE EFEITO ESTUFA: ESTUDO DE CASO  
NA FUMICULTURA DO SUL DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**.

**Aprovado em 22 de fevereiro de 2017:**

---

**Jorge Antonio de Farias, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Dimas Agostinho Silva, Dr. (UFPR)**

---

**Darci Alberto Gatto, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, RS

2017

## AGRADECIMENTOS

Agradeço,

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), minha segunda casa, e ao PPGEF pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Japan Tobacco International (JTI), pelo auxílio financeiro e incentivo à pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jorge Antonio de Farias, pelos ensinamentos, apoio, incentivo e desafios propostos.

Aos meus coorientadores, Cristiane e Flávio, pelo auxílio no planejamento e execução da pesquisa.

Aos componentes da banca, que abriram mão de compromissos para contribuir com esse estudo.

Aos fumicultores Fábio e Fábio e seus familiares pela colaboração na coleta de dados, também pelo carinho e hospitalidade.

À equipe do Laboratório de Economia e Política Florestal, cuja ajuda e apoio foi fundamental para esse trabalho. Em especial ao Rafael e Bianca pela ajuda na revisão do trabalho.

Às amigas que construí no Laboratório de Manejo Florestal e que certamente levarei para a vida (Gustavo, Anna, Cyro e Karen, Daniele, Débora, Elke, Lorena e Victor, Luciana e Fábio, Lorena, Mari, Verônica) e aos parceiros do grupo “Piores da Pós” do WhatsApp pelos momentos de alegria e descontração.

Aos amigos, a família que escolhi para ter do meu lado e acompanhar minha trajetória. Agradecimento especial as “Divas” Jucieli, Ana Cristina, Ângela, Michele, Pâmela, Sabrina e Valesca.

À minha família que sempre me incentivou e apoiou em todas as minhas decisões, e especialmente aos meus pais, por me encorajarem e não me deixarem desistir nos momentos de dúvidas e de saudades.

Ao meu companheiro, Paulo Afonso, por me aturar todos esses anos, me incentivar, estar presente e ajudar a construir meus sonhos. Te amo!

Obrigada por sempre acreditarem em mim e compreenderem as tantas e tantas vezes que não pude estar ao lado de vocês.

Com certeza sem todos eu jamais chegaria aonde cheguei.

OBRIGADA!

*“A lição número um  
Eu aprendi com meu pai  
Quem não sabe pra onde vai,  
Não vai a lugar nenhum”*

(Destinos – Jayme Caetano Braun)

## RESUMO

### USO DA BIOMASSA FLORESTAL COMO ESTRATÉGIA DE REDUÇÃO DOS GASES DE EFEITO ESTUFA: ESTUDO DE CASO NA FUMICULTURA DO SUL DO BRASIL

AUTORA: CARLINE ANDRÉA WELTER  
ORIENTADOR: JORGE ANTONIO DE FARIAS

A fumicultura é uma atividade de grande expressão econômica no Sul do país, e que necessita anualmente de um grande volume de biomassa florestal, utilizada no processo de cura das folhas de tabaco, e que representa quase 10% dos custos de produção. A combustão completa da madeira produz vapor d'água e CO<sub>2</sub> juntamente com calor e cinzas não combustíveis. Quando a combustão é incompleta ocorre à formação de CO, hidrocarbonetos e outros gases. Alternativa a lenha, o uso de resíduos agroindustriais, como a serragem, se mostra promissor, uma vez que dá destino adequado a estes resíduos, diminuindo a emissão de poluentes (metano) na sua decomposição, além do menor custo e fácil manuseio, porém a alta variabilidade acaba por reduzir o poder calorífico útil. Uma opção são os *pellets*, que além de homogêneos, tem propriedades superiores durante a combustão e menores emissões de gases de efeito estufa (GEE). O objetivo do trabalho foi analisar novas fontes de biomassa florestal, visando a eficiência energética e o controle e redução das emissões de GEE, especialmente através do controle da qualidade dos biocombustíveis. Em duas propriedades fumicultoras do Rio Grande do Sul, com modelos diferentes de unidades de cura, foram acompanhados: o consumo das biomassas lenha, serragem e *pellets*, a produção de cinzas pós combustão, e a emissões dos gases de combustão. Amostras foram coletadas para análises físico-químicas de qualificação da biomassa e também foi realizada uma análise financeira. Apesar de ter apresentado inferiores características químicas, a serragem teve menor consumo comparado a lenha. Os *pellets* apresentaram as melhores características físico-químicas para energia, assim também o menor consumo e as menores taxa de emissão de CO<sub>2</sub>. Porém, financeiramente necessita de um aumento na oferta e redução do preço de venda. Na tomada de decisão para escolher qual biomassa e tecnologia a ser utilizada, o produtor deve levar em consideração a qualidade final do produto, as melhorias nas condições ergonômicas e de saúde, área de armazenamento, melhoria na qualidade do ar.

**Palavras-chave:** Bioenergia. Tabaco. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

### USE OF FORESTRY BIOMASS AS A STRATEGY FOR REDUCING GREENHOUSE GASES: A CASE STUDY IN SOUTH OF BRAZIL TOBACCO FARMING

AUTHOR: CARLINE ANDRÉA WELTER  
ADVISOR: JORGE ANTONIO DE FARIAS

Fumiculture is an activity of great economic importance in the South of Brazil and requires annually a large volume of forest biomass used in the curing process of tobacco leaves and accounting for almost 10% of production costs. Complete combustion of wood produces water vapor, CO<sub>2</sub>, heat and non-combustible ash. When combustion is incomplete, it occurs to the formation of CO, hydrocarbons and other gases. As an alternative to firewood, the use of agroindustrial waste, such as sawdust, is promising, since it gives adequate destination to these wastes, reducing the emission of pollutants (methane) in their decomposition, besides the lower cost and easy handling, but the high variability ends up reducing the useful value heat. One option is *pellets*, which in addition to homogeneous, have superior properties during combustion and lower greenhouse gas emissions (GHG). The objective of this work was to analyze new sources of forest biomass, aiming at energy efficiency and the control and reduction of GHG emissions, especially by controlling the quality of biofuels. In the two farms of the State of Rio Grande do Sul, with different models of curing units, the biomass consumption of firewood, sawdust and *pellets*, the production of ashes after combustion, and emissions of combustion gases were monitored. Samples were collected for physical-chemical analysis of biomass qualification and a financial analysis was also performed. Despite having inferior chemical characteristics, the sawdust had inferior consumption to firewood. *Pellets* presented the best physico-chemical characteristics for energy, as well as lower consumption and lower CO<sub>2</sub> emission rates. However, financially it needs an increase in the supply and reduction of the sale price. In decision making to choose which biomass and technology to use, the producer must take into account the final quality of the product, improvements in ergonomic and health conditions, storage area, improvement in air quality, among others.

**Keywords:** Bioenergy. Tobacco. Sustainability.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização do município de Paraíso do Sul. ....	22
Figura 2 - A: Unidade convencional de cura de tabaco. B: Aspecto da fornalha, saída da chaminé e localização do controlador eletrônico de temperatura. C: Interior da unidade com tubulação de canos galvanizados.....	23
Figura 3 - Localização do município de Candelária.....	24
Figura 4 - Unidades de cura de tabaco de ar forçado adaptadas com alimentadores automatizados.....	24
Figura 5 - Unidade de cura de ar forçado alimentada por serragem. ....	25
Figura 6 - Representação gráfica das cunhas retiradas de cada disco.....	27
Figura 7 - A: Acessórios utilizados para a determinação de volume verde das cunhas. B: Submersão da cunha e anotação do peso de líquido deslocado. ....	29
Figura 8 - Moinho à esquerda e agitador mecânico à direita .....	30
Figura 9 - Extrator de Soxhlet, utilizado para a retirada dos extrativos da madeira. .	31
Figura 10 - Processo de fervura das amostras no processo de hidrólise ácida da madeira para retirada dos polissacarídeos totais.....	31
Figura 11 - Bomba de vácuo, utilizada na filtração das amostras. ....	32
Figura 12 - Fluxograma das etapas do levantamento do consumo de lenha .....	33
Figura 13 - Posições/Classes colhidas na planta de tabaco da variedade "Virginea" .....	34
Figura 14 - Cubagem pelo método de Smalian.....	34
Figura 15 - Empilhamento dos toretes cubados na propriedade A, para posterior transporte para área coberta e consumo na cura do tabaco.....	35
Figura 16 - Fluxograma das atividades realizadas na propriedade B para avaliação do consumo de biomassa .....	36
Figura 17 - A: Recipiente (55l) adaptado pelo fumicultor para abastecer o alimentador com serragem. B: Embalagem comercial dos <i>pellets</i> .....	37
Figura 18 - A: Analisador de gases de combustão Chemist 500x. B e C: Medição dos gases através da inserção da sonda em orifício aberto na saída das chaminés	39
Figura 19 - Concentrações médias dos poluentes analisados por fase da cura, com o uso de lenha em unidade convencional .....	47
Figura 20 - Concentrações médias dos poluentes analisados por fase da cura, com o uso de serragem em unidade de ar forçado.....	48
Figura 21 - Concentrações médias dos poluentes analisados por fase da cura, com o uso de <i>pellets</i> em unidade de ar forçado .....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados técnicos dos <i>pellets</i> fornecidos na embalagem.....	26
Tabela 2 - Fonte de dados .....	41
Tabela 3 – Parâmetros médios de qualidade das biomassas florestais para energia .....	42
Tabela 4 - Consumo médio de biomassa florestal (em kg) e energia consumida (kcal) para cada quilograma de tabaco curado. ....	44
Tabela 5 - Quantidade média e representatividade das cinzas remanescentes do processo de cura do tabaco e análise química imediata de amostras coletadas. ....	46
Tabela 6 - Vazão de ar da chaminé medida e taxa de emissão dos poluentes analisados para cada biomassa utilizada. ....	50
Tabela 7 - Resumo dos parâmetros financeiros calculados para os cases de estudo .....	51
Tabela 8 – Fluxo de caixa do processo de cura do tabaco com o uso de lenha em unidade convencional.....	67
Tabela 9 –Fluxo de caixa do processo de cura do tabaco com o uso de serragem em unidade de ar forçado. ....	67
Tabela 10 – Fluxo de caixa do processo de cura do tabaco com o uso de <i>pellets</i> em unidade de ar forçado. ....	68

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>13</b>
2.1	Geral	13
2.2	Específicos	13
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>14</b>
3.1	Fumicultura	14
3.2	A relação floresta e fumicultura	15
3.3	Energia de biomassa florestal	17
3.4	Mudanças climáticas	19
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>22</b>
4.1	Localização e caracterização das áreas de estudo	22
4.1.1	Propriedade A	22
4.1.2	Propriedade B	23
4.2	Caracterização da biomassa florestal	25
4.2.1	Teor de umidade	28
4.2.2	Densidade básica	28
4.2.3	Teor de lignina	30
4.2.4	Poder calorífico e análise química imediata	32
4.3	Dimensionamento do consumo de biomassa na cura do tabaco	33
4.3.1	Lenha	33
4.3.2	Serragem e <i>pellets</i>	35
4.4	Dimensionamento e caracterização química dos resíduos da combustão de biomassa	37
4.5	Análise dos gases de combustão	37
4.6	Análise econômica	40
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>42</b>
5.1	Qualidade da biomassa florestal	42
5.2	Eficiência da combustão de biomassa na cura do tabaco	44
5.2.1	Consumo de biomassa florestal e sua eficiência na combustão	44
5.2.2	Emissões de Gases de Combustão	46
5.3	Viabilidade econômica	50
5.3.1	Análise financeira	50
5.3.2	Aspectos socioambientais	52
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>55</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>57</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>63</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A necessidade da biomassa como fonte de energia é antiga e comum, no entanto, a crescente demanda e necessidade por energias renováveis, associada a atual situação ambiental tem estimulado economicamente o máximo aproveitamento dos resíduos de biomassa provenientes dos mais diversos processos produtivos agrícolas e industriais.

O Brasil apresenta uma extensa área florestal, um enorme potencial para geração de produtos madeireiros, da mesma maneira também um grande produtor de resíduos, geralmente descartados e acumulados no meio ambiente, causando não somente problemas de poluição, como também caracterizando um desperdício de matéria prima (SILVA, 2006).

Na região sul do Brasil, a fumicultura é uma atividade de grande expressão econômica, e que necessita anualmente de um grande volume de biomassa (lenha em forma de toretes) utilizada no processo de cura das folhas de tabaco. De acordo com AFUBRA (2013), a lenha corresponde a cerca de 8% do custo de produção do tabaco da variedade “Virgínea”.

Além disso, dados de uma pesquisa realizada em parceria UFSM e Afubra apontaram que, na safra 2012/13, cerca de 45% da lenha consumida para a cura do tabaco na região do Vale do Rio Pardo (Santa Cruz do Sul-RS), maior produtora de tabaco, foi comprada. E desse percentual, 40,5% foi adquirida de fora da região, o que acarreta em perdas de renda e recursos para o desenvolvimento regional, e ainda demonstra a necessidade do aumento das áreas de florestas plantadas e da flexibilização quanto ao manejo das florestas nativas (FARIAS et al., 2013).

A produção de energia a partir de biomassa constitui um componente importante para o setor, uma vez que dá destino aos resíduos agrícolas, florestais e agroindustriais existentes, também pelo estímulo à produção de biomassa para fins energéticos, e ainda poderá substituir e/ou suplementar a demanda de lenha dentro das regiões.

A busca por alternativas ao consumo de lenha, ou sua redução, têm se mostrado promissora. Entre algumas alternativas, pode-se destacar a utilização de serragem em unidades de cura de tabaco, que é uma tecnologia recente, possibilitando a utilização de um resíduo de baixo custo e fácil manuseio.

Contudo, a alta variabilidade da biomassa acaba por diminuir o poder calorífico útil quando aplicados de forma *in natura*. Uma opção economicamente mais interessante para a utilização da biomassa seria o seu aproveitamento como matéria-prima de novos produtos de maior valor agregado como os *pellets*, que tem a vantagem de ser um produto homogêneo e com propriedades superiores aos demais resíduos durante a combustão.

Além disso, o consumo de *pellets* é favorável ao meio ambiente, pois é neutro em carbono, ou seja, todo CO<sub>2</sub> emitido na sua queima é recuperado no crescimento das plantas, e tem baixas emissões de gases do efeito estufa, além de ser derivado de resíduos que constituem um passivo ambiental quando deixados no ambiente (COUTO et al., 2008).

A combustão completa da madeira produz vapor d'água e CO<sub>2</sub> juntamente com calor e cinzas. Quando a combustão é incompleta ocorre à formação de CO, hidrocarbonetos e outros gases (AMORIM, 2012).

Controlar a poluição do ar consiste principalmente em reduzir as emissões de poluentes primários para a atmosfera, pois são eles os causadores originais de efeitos adversos e os precursores dos poluentes secundários.

Segundo Arruda (2009), é necessário estabelecer, por lei e normas regulamentadoras, padrões de qualidade, com definição do limite máximo de concentração de um componente atmosférico, garantido a proteção da saúde e bem-estar da população. Por estas questões, estabelecer um monitoramento contínuo das emissões em indústrias para adequação dos parâmetros legais e também para uma otimização nas relações de queima para melhor aproveitamento de combustível. Juntamente, deve ser verificada a qualidade do combustível e o tipo de sistema de cura, pois são fatores importantes no controle das emissões, e neste contexto devem também ser observadas as diferenças de gases gerados pelos diferentes combustíveis.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Avaliar distintas biomassas florestais como fonte energética e suas emissões atmosféricas, na fumicultura do Sul do Brasil.

### 2.2 ESPECÍFICOS

- Qualificar a biomassa florestal utilizada na cura do tabaco e analisar suas características físico-químicas para energia;
- Verificar a eficiência da combustão, através da análise do consumo de biomassa, das emissões e da presença de carbono fixo junto as cinzas resultantes do processo de queima;
- Estimar as taxas de emissão atmosférica dos poluentes nas unidades de cura de tabaco em relação a biomassa utilizada;
- Analisar a viabilidade econômica para cada biomassa utilizada.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 FUMICULTURA

A fumicultura vem crescendo ao longo dos anos no país, tendo como consequência a consolidação do Brasil como segundo maior produtor de tabaco no mundo, ficando atrás apenas da China (AFUBRA, 2012). Além disso, o aumento da produtividade e qualidade da cultura tornou o país, segundo Bonatto (2007), o maior exportador mundial de tabaco, ressaltando a importância deste *commodity* para a economia nacional.

Mesmo estando em uma realidade de segundo maior produtor mundial, a majoritária parte da produção concentra-se na região Sul do Brasil. Segundo dados do Anuário Brasileiro do Tabaco (MENDES, 2015), cerca de 47% da produção da safra 2014/15 foi proveniente do Rio Grande do Sul.

No contexto da produção, em função da compatibilidade da cultura com minifúndios, o tabaco é responsável pela manutenção da renda de inúmeras famílias de pequenos agricultores (DUTRA e HILSINGER, 2013). Este fato, aliado a geração de empregos diretos e indiretos, enfatiza a importância social, além de econômica da fumicultura na região.

Atualmente a organização da cadeia produtiva do tabaco se dá pelo sistema integrado de produção (SIP), sendo compra de insumos e venda do produto regidos por contratos entre os produtores e a agroindústria fumageira (GUERRA; KLINGER; DÖRR, 2013). A utilização deste modelo, segundo os mesmos autores, resulta em uma perda de autonomia pelo produtor. Entretanto, a integração entre produtor e indústria também colabora com a acessibilidade dos produtores a tecnologias recentes, aprimorando assim a produtividade e qualidade do produto final.

Uma etapa indispensável da produção de tabaco é o processo de cura e secagem, o qual requer investimento em estufas, para a transformação química, física e biológica para preservação da qualidade e características desejadas pelo mercado. A estufa é o maior investimento necessário a ser feito pelo fumicultor, normalmente em sua propriedade, para poder produzir o tabaco do tipo Virginia (BOETTCHER, 2017). De um modo geral, cada produtor possui sua própria unidade de cura, com número de unidades de acordo com a área cultivada, podendo haver mais de uma estufa por propriedade (MENDES, 2015).

De acordo com a AFUBRA (2014) estima-se que existem atualmente 157.460 estufas de fumo em atividade nos três estados do sul. Informações oficiais sobre o percentual de estufas do tipo convencional (convecção natural) e de circulação de ar forçado, não estão disponíveis, porém uma estimativa do setor aponta para um índice de aproximadamente 50% para cada um dos dois tipos. Entre os dois tipos de unidades de cura (convencional e ar forçado) existem diferenças significativas nos custos de implantação, em termos de eficiência térmica, capacidade de cura, mão de obra empregada, entre outras características (BOETTCHER, 2017).

No que tange a questão da contribuição da fumicultura para com o Estado, segundo dados de Schuch (2008), a produção de tabaco envolve cerca 92 mil produtores e 400 mil pessoas através de vínculos empregatícios diversos. Esta mão-de-obra é responsável pela manutenção de 148.280 hectares produtivos, totalizando 330.940 toneladas de tabaco (MENDES, 2015).

Além disso, através de dados do Sindicato Interestadual da Indústria do Tabaco (SINDITABACO, 2012), o tabaco foi responsável por cerca de 12,9% das exportações gaúchas no ano de 2012. Este dado, somado as informações anteriores, demonstra a importância econômica e social que a fumicultura apresenta no Estado, contribuindo com a formação de renda, empregos, arrecadação de impostos entre outros aportes ao desenvolvimento socioeconômico do Rio Grande do Sul.

### 3.2 A RELAÇÃO FLORESTA E FUMICULTURA

O tabaco, assim como diversas culturas agrícolas, necessita de beneficiamento através da secagem para que sua comercialização se torne viável. A instrução normativa 10/2007 do MAPA restringe o teor de umidade para as folhas do tabaco em no máximo 17%, sendo produtos com valor acima deste considerados não comercializáveis (BRASIL, 2007).

A proibição do uso de combustíveis derivados do petróleo na cura de produtos agrícolas pelo Conselho Nacional do Petróleo, em 1980, trouxe consigo a necessidade da substituição desta fonte de energia pela biomassa (PRECCI et al., 2008).

Dentro deste contexto, ainda segundo o mesmo autor, a madeira constitui a fonte mais abundante de biomassa na Terra, sendo utilizada como fonte de energia em diversos países. No âmbito da produção de fumo, a madeira é amplamente utilizada em forma de lenha para abastecer as unidades de cura nas propriedades.



O calor produzido pela combustão da lenha transfere energia térmica para o ar que é aquecido, produzindo posteriormente um gradiente térmico responsável pela secagem das folhas de fumo (GREFF; FARIAS; SCHULTE, 2015). Os três Estados do Sul do Brasil consomem cerca 1,8 milhões de toneladas de lenha por safra para a cura do tabaco produzido (SCHOENHALS; FOLLADOR; SILVA, 2009).

Ademais, segundo dados levantados pelo Sinditabaco e AFUBRA, a lenha é responsável por cerca de 8% do custo de produção do fumo. Já dados da Federação dos Trabalhadores na Agricultura do Estado de Santa Catarina (FETAESC, 2015) apontam para um valor em torno de 10%, enfatizando assim a importância deste produto, além da dependência da fumicultura com o mesmo, sendo, através destes dados, constatada a necessidade de uma oferta constante desta fonte de energia nos períodos da cura do tabaco.

O consumo de biomassa florestal para a cura do tabaco e demais *commodities* agrícolas, em uma primeira instância, trouxe diversos problemas com relação ao uso irracional de recursos madeireiros provenientes de florestas nativas até a década de 60 (PRECCI et al., 2008). Entretanto, a conscientização de que os recursos nativos são limitados gerou uma preocupação acerca da disponibilidade contínua dos mesmos, sendo a partir deste momento, o início das implantações de plantios comerciais para prover madeira e seus subprodutos para diversos fins, inclusive a cura de produtos agrícolas como o tabaco.

Aliado a isto, em 2005, surge a Convenção Quadro para o controle do tabaco. Esta, teve por objetivo discutir questões relacionadas ao aumento do tabagismo no mundo e suas consequências. Insere-se neste âmbito a necessidade da diversificação nas áreas de fumicultura, a fim de proporcionar aos produtores mais segurança e oportunidades de renda (FARIAS, 2010).

Ainda segundo o mesmo autor, o cultivo florestal dentro deste contexto caracteriza-se como alternativa para a implementação de outras fontes de renda no universo de pequenas propriedades, as quais caracterizam a base da fumicultura no Sul do Brasil.

Assim, a implantação de investimentos florestais no ambiente produtivo do tabaco, pode proporcionar além de uma diminuição nos custos de produção, em função da disposição de lenha própria na propriedade, um incremento e diversificação na renda do produtor, tendo como consequência uma maior estabilidade socioeconômica para o mesmo.

### 3.3 ENERGIA DE BIOMASSA FLORESTAL

Considerando a importância do emprego de fontes alternativas de energia na indústria, produção elétrica e agricultura, que sejam renováveis e provoquem menores danos ao meio-ambiente, se destaca a biomassa florestal, fonte de energia provinda das florestas plantadas que carrega sustentabilidade em seu emprego.

A biomassa é toda matéria orgânica de origem não fóssil – renovável- provinda de materiais orgânicos de origem do reino animal ou vegetal (SOARES et al., 2006), que pode ser utilizada como fonte de energia em indústrias, na agricultura e produção de energia termoelétrica. A biomassa ainda pode ser revertida para produtos de origem sólida como briquetes, *pellets* e carvão vegetal, gasosa como o biogás do lixo, ou ainda líquida, como o etanol e biodiesel, tornando-se fonte alternativa de energia (BRASIL, 2014).

A justificativa para ser uma fonte renovável de energia, decorre da existência do ciclo do carbono, onde este, na forma de dióxido de carbono, é incorporado da atmosfera e fixado na planta através da fotossíntese, tendo como consequência, dentro de uma utilização racional, a não alteração da qualidade do ar atmosférico.

O seu uso iniciou a partir da crise do petróleo que ocorreu na década de 1970, onde novos conceitos de sustentabilidade socioeconômica e ambiental foram lançados e assim estabelecidos novos padrões ideais de geração e de consumo de energia (ABREU; SILVA; NASCIMENTO, 2014). A crise do petróleo deixou claro a instabilidade do uso de fontes fósseis, que dependem de reservas e tem grande impacto na questão ambiental, e que contribuem para as mudanças climáticas através da emissão de gases e conseqüentemente para o efeito estufa.

Assim, o Brasil em meio a grande espaço territorial, possuindo diversas áreas disponíveis para uso, inclusive aquelas com maior declividade e difícil acesso, potencializou a atividade da silvicultura como alternativa na geração de renda extra, empregos e produção de energia.

O uso da biomassa florestal como produto energético está intrinsecamente ligado as qualidades físicas e químicas da madeira (MIRANDA, 2015). A madeira é composta predominantemente por fibras de celulose e hemiceluloses, unidas pela substância denominada lignina que é rica em carbono e hidrogênio (SALMÉN; OLSON, 1998). Assim, as estimativas de biomassa seca e de lignina são fatores de

fundamental importância quando a madeira é destinada para a produção de bioenergia (LIMA; SILVA; LAVORANTI, 2011; TRUGILHO et al., 1997).

A capacidade energética da madeira sofre influência de diversos fatores, tais como a espécie/clone, idade, local de plantio e interações (TRUGILHO et al., 1997), também grande relação com a densidade básica da madeira, pois influi no dimensionamento das unidades de geração de energia, no rendimento e eficiência da mesma (BRAND, 2010).

E por fim, sofre grande influência da umidade, pois devido a presença de água livre na madeira ocorre uma diminuição do poder calorífico, sendo que parte do calor gerado é consumido na evaporação desta água (SANTOS et. al., 2013).

Produtos de origem de biomassa florestal como o carvão vegetal, lenha, *pellets* e briquetes são os principais produtos utilizados. O Brasil é o maior produtor e consumidor de carvão vegetal do mundo, utilizado nos processos industriais de obtenção do ferro gusa, ao invés dos produtos de origem fóssil, aumentando a produção com menor quantidade de material empregado e diminuindo os custos de produção (ABREU et. al., 2014).

A lenha é utilizada para a secagem da produção na agricultura e indústria, entretanto, com os processos de densificação da biomassa, esta vem sendo substituída, por seu menor poder calorífico comparado ao de briquetes e *pellets*. A densidade energética do briquete é cerca de sete vezes maior que a da madeira, além de serem mais uniformes, terem boa forma e fáceis de armazenar. Os *pellets* possuem capacidades energéticas equivalentes e, apesar de serem mais utilizados para o aquecimento doméstico, a tendência é que o seu consumo seja ampliado nas atividades industriais, pois é de mais fácil manuseio e passível de automatização na alimentação das fornalhas, por exemplo.

Segundo o World Energy Council (WEC), em 2011, a biomassa, contribuiu com cerca de 10% da energia produtiva primária mundial, e deverá crescer em 20% até 2020. Já no Brasil, conforme a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), a biomassa, em 2016, é responsável por cerca de 8,83% do total de energia produzida nacionalmente, isso significa cerca de 14.019.781 KW. Das fontes para essa produção, o bagaço da cana-de-açúcar contribui em 78,2% e o setor florestal em 20% do total, o que equivale a 2.803.847 KW (SÃO PAULO, 2016).

Com a geração de energia a partir da biomassa, provinda de aproveitamento de resíduos florestais, a geração de empregos pode ser 10 a 20 vezes maior se

comparado com a geração de energia a partir de combustíveis fósseis (BRASIL, 2006).

Baseando-se nesse fato, os pequenos agricultores encontrariam na biomassa oportunidade para a diversificação e suplementação de sua renda, o que ajudaria evitar o êxodo rural com a manutenção do agricultor no campo. Ainda, Soares et al. (2006) indicam que a utilização de biomassa oriunda de plantios em larga escala também pode promover desenvolvimento sustentável de áreas rurais e regiões pouco desenvolvidas.

### 3.4 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As mudanças climáticas, conforme divulgado pela United Nations (1992), podem ser definidas como as mudanças na temperatura, ou seja, sua variação ao longo do período de anos, que tem sua origem na ação antrópica, ou variabilidade climática natural, e acabam por alterar a composição atmosférica mundial.

A existência de tais mudanças climáticas, está intrinsecamente relacionada a emissão de gases, principalmente os de efeito estufa (GEE), e o aumento destes na atmosfera, que acabam por aquecer a superfície terrestre, e condicionar o efeito estufa (RODRIGUES, 2012). Gases esses como o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o vapor d'água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) funcionam como uma cortina de gás impedindo que a energia do sol absorvida pela Terra durante o dia seja emitida de volta para o espaço provocando a retenção de calor na superfície terrestre e elevação da temperatura média anual (BRASIL, 2012).

No contexto nacional, segundo fonte do Ministério de Minas e Energia (MME), o Brasil emite 32% de gases GEE a menos que a média mundial. Ainda, o MME sinaliza que a matriz energética brasileira necessária para movimentação econômica, utiliza cerca de 39,4% de fontes renováveis, aproximadamente três vezes mais que o indicador mundial, que é de 13,6%; enquanto na matriz energética mundial os combustíveis fósseis respondem por 82% do total, na matriz brasileira o indicador é de 59%.

Os setores que mais contribuem para tais emissões, são os setores de Mudança no Uso da Terra, Energia e Agropecuária, emitido respectivamente 476, 440 e 440 Mt  $\text{CO}_2$  por ano. No setor de Mudança no Uso da Terra é computado as emissões equivalentes ao desmatamento, e que vem decaindo, aproximadamente

42%, com expressiva redução do desmatamento na Amazônia (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2014).

Ainda, segundo dados publicados pelo Observatório do Clima, (2014) o setor de energia foi o que apresentou maior pressão, com incremento de 126% no período. Nos setores de Processos Industriais e Resíduos, as emissões aumentaram respectivamente 65% e 64% e, no setor Agropecuário, a alta registrada foi de 45%.

Com o intuito de amenizar as emissões de gases pelos setores brasileiros, a pressão ambiental e, por conseguinte o efeito estufa, que tem como consequências, conforme Oliveira et. al. (2009), aumento do nível do mar, transformação de áreas em desertos, extinção de ecossistemas, entre outras, se fará necessário substituir as fontes fósseis por fontes renováveis, que emitam menor quantidade de gases, provenham de recursos naturais renováveis e sustentem as demandas do mercado.

A madeira é um combustível sólido. Como tal, passa por processo de degradação térmica quando submetida à elevação da temperatura. Neste processo, diferentes resíduos são produzidos, entre eles: compostos químicos voláteis, gases, vapor d'água, fumaça, cinzas e carvão (PINTO e CALIL JUNIOR, 2006).

Os principais agentes da poluição atmosférica em gases de combustão são o material particulado (MP), o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e os óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) (CARVALHO e LACAVA, 2003).

Os óxidos de nitrogênio constituem-se principalmente de NO (90% a 95%). A formação dos NO<sub>x</sub> ocorre por três mecanismos diferentes: dissociação térmica e reação do nitrogênio e oxigênio moleculares presentes no ar de combustão em altas temperaturas; evolução e reação do nitrogênio ligado ao combustível com o oxigênio; e formação intermediária de ácido cianídrico (HCN), seguida da oxidação para NO (LUCON, 2003). A formação dos NO<sub>x</sub> depende da temperatura de queima, da vazão entre ar e combustível e da umidade (LUCON, 2003).

O NO<sub>x</sub> emitido durante o processo de combustão depende da composição do combustível, do modo de operação e do projeto dos queimadores e da câmara de combustão. Cada um desses parâmetros é significativo em relação à concentração final de NO<sub>x</sub> emitido (MARTINS e FERREIRA, 2010).

O monóxido de carbono (CO) é um gás incolor, inodoro, e insípido, gerado pela combustão incompleta. Em altas concentrações, afeta os reflexos humanos. Após

sofrer oxidação completa gera o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), causador do aumento do efeito estufa (LUCON, 2003).

Diversos compostos orgânicos voláteis podem ser emitidos nos processos de combustão e são originados pela combustão incompleta do combustível. Estes compostos podem ser parcelas do próprio combustível que não conseguiu ser queimado e saiu junto com os outros produtos de combustão, ou compostos formados a partir de radicais de hidrocarbonetos não oxidados completamente. A medição destes compostos nos produtos de combustão é denominada de hidrocarbonetos totais e juntamente com o monóxido de carbono pode ser utilizado como indicador de combustão completa para fins de controle do processo de combustão (JOSÉ, 2004).

Ainda, segundo o mesmo autor, as principais razões da formação de hidrocarbonetos totais nos gases de combustão são basicamente as mesmas para a formação de monóxido de carbono e outros produtos da combustão incompleta: mistura não homogênea entre combustível e ar; má distribuição do tempo de residência dos gases; esfriamento da chama, interrompendo as reações.

As emissões de compostos orgânicos (hidrocarbonetos) são diretamente influenciadas pela tipologia de combustível (principalmente na combustão da biomassa), tecnologia de combustão, tamanho e idade da instalação, procedimentos de manutenção e de operação. Os compostos orgânicos incluem os compostos orgânicos voláteis (COV), compostos orgânicos semi-voláteis e compostos orgânicos condensáveis. Os COV abrangem um amplo espectro de compostos orgânicos voláteis e entre esses o metano (CH<sub>4</sub>) (RODRIGUES, 2011).

No processo de combustão industrial é praticamente impossível obter uma combustão completa sem que haja excesso de ar, por não haver a homogeneização perfeita entre o ar e o combustível em face das eventuais variações de temperatura e pressão atmosférica, sendo dificilmente obtido o aproveitamento máximo do combustível (GARCIA, 2002).

O uso de energia renovável e o uso de novas tecnologias de combustão podem ser soluções para diminuição dos impactos ambientais, principalmente das emissões atmosféricas. Todavia, com a atual concepção do uso de combustíveis através da combustão direta, a redução dos impactos ambientais fica limitada a eficiência dos equipamentos, medidas de controle de perdas de calor por dissipação, novas tecnologias de conversão de energia, melhoria na qualidade da biomassa, entre outros (MARQUES, 2006).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

#### 4.1.1 Propriedade A

A propriedade está localizada no Rio Grande do Sul, município de Paraíso do Sul, na localidade denominada Quilombo, sob coordenadas geográficas  $29^{\circ} 43.712'S$  e  $53^{\circ} 7.284'O$  (Figura 1), e apresenta unidades de cura convencionais abastecidas a lenha.

Figura 1 - Localização do município de Paraíso do Sul.



Fonte: Google Imagens, 2016

A unidade de cura apresenta tubulação para circulação do ar quente em canos galvanizados e com capacidade para 800 varas de tabaco (Figura 2), na qual foram avaliados o consumo de biomassa, as cinzas remanescentes e as emissões provenientes da combustão de lenha para a secagem do tabaco.

Figura 2 - **A:** Unidade convencional de cura de tabaco. **B:** Aspecto da fornalha, saída da chaminé e localização do controlador eletrônico de temperatura. **C:** Interior da unidade com tubulação de canos galvanizados.



Fonte: Autora

#### 4.1.2 Propriedade B

A propriedade está localizada no Rio Grande do Sul, município de Candelária, na localidade denominada Travessão Schoenfeldt, sob coordenadas 29° 41.906'S e 52° 55.158'O (Figura 3). Apresenta três unidades de cura de tabaco de ar forçado adaptadas para a alimentação com serragem (Figura 4), com capacidades para 240, 300 e 370 grampos. A serragem é depositada nos arredores da unidade de cura, facilitando assim o manuseio (Figura 5).



Figura 3 - Localização do município de Candelária



Fonte: Google Imagens, 2016

Figura 4 - Unidades de cura de tabaco de ar forçado adaptadas com alimentadores automatizados



Fonte: Autora

O sistema de alimentação é ligado a um controlador eletrônico que regula a quantidade necessária de serragem/*pellets* a ser utilizada até atingir a temperatura exata para cada fase da cura do tabaco. Em caso de o alimentador esvaziar, um sinal sonoro é emitido pelo controlador eletrônico para que seja feito o reabastecimento.

Figura 5 - Unidade de cura de ar forçado alimentada por serragem.



Fonte: Autora

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA FLORESTAL

A biomassa florestal utilizada foi:

- a) Serragem: obtida junto a serrarias do município de Candelária, RS, cujo predomínio absoluto da matéria-prima florestal foi do gênero *Eucalyptus* sp.
- b) *Pellets*: foram obtidos junto a empresa CHAMAPE, localizada em Vale Real, RS, cuja matéria-prima florestal foi do gênero *Pinus* sp;
- c) Lenha: a totalidade da lenha utilizada foi do gênero *Eucalyptus* sp, e foi adquirida no município de Paraíso do Sul, RS.

Para a lenha, que foi utilizada apenas na propriedade A, foram coletados 6 toretes, aleatoriamente, adaptado da metodologia indicada por Pedrazzi (2015). De cada um destes foi retirado dois discos centrais (X e Y), devidamente identificados e encaminhados ao Laboratório de Manejo Florestal da UFSM, com o intuito de efetuar a análise do poder calorífico superior, densidade básica da madeira e teor de lignina, bem como o teor de umidade.

Assim também, da serragem e *pellets*, biomassas utilizadas apenas na propriedade B, foram coletadas amostras aleatoriamente para as análises de laboratório. As análises dos *pellets* foram comparadas aos dados fornecidos pelo fabricante (Tabela 1).

Tabela 1 - Dados técnicos dos *pellets* fornecidos na embalagem

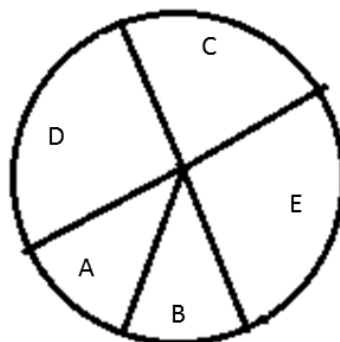
<b>INFORMAÇÕES TÉCNICAS DO PELLETT CHAMAPE</b>	
Diâmetro	6 mm
Umidade Base Seca	8,41%
Densidade “a granel”	> 570 kg/m <sup>3</sup>
Densidade Aparente	591,97 kg/m <sup>3</sup>
Poder Calorífico	4707 kcal/kg
Equivalente de 1 Kg em kWh (superior)	5,47 kWh
Teor de cinza	0,30%

Fonte: Chamape, 2016.

Nas determinações de umidade pelo método gravimétrico não se deve utilizar amostras retiradas nas extremidades das peças de madeira, pois estas tendem a estar mais secas. Recomenda-se que as amostras sejam retiradas a mais de 30,0cm das extremidades (JANKOWSKY e GALINA, 2013). Justificando a escolha por retirar o disco no centro dos toretes.

Em cada disco “X” foram retiradas cinco cunhas (Figura 6). Duas no maior raio com ângulos internos de 45° (A e B), e a outra, oposta com ângulo de 90° (C), utilizadas para as determinações de teor de lignina. As demais cunhas opostas (D e E) foram transformadas em cavacos e unidas, sendo utilizadas para as análises de poder calorífico e análise química imediata. Dos discos “Y” também foram retiradas cunhas, para as determinações de teor de umidade e densidade.

Figura 6 - Representação gráfica das cunhas retiradas de cada disco



Fonte: Autora

A densidade básica foi determinada pelo método da balança hidrostática (ABNT NBR 11.941/2003) e o poder calorífico superior da madeira, pelo método da bomba calorimétrica. Os teores de lignina foram determinados pela norma TAPPI T222 om-83.

Para um combustível ideal, as características mais desejadas, dentre outras, são: alto poder calorífico, alta densidade da madeira, baixo teor de cinzas e baixo teor de umidade. Para uma comparação melhor das espécies estudadas no trabalho, foi criado um índice, que foi elaborado levando em conta o poder calorífico e densidade da madeira como características positivas e teor de cinzas e umidade como características negativas. Assim, o índice de valor combustível (IVC) (PUROHIT & NAUTIYAL, 1987 apud SOARES, 2016).

Também foram calculados, conforme Moreira et al. (2012), e a densidade energética (Equação 2).

$$IVC = \frac{(Db*PCI)}{(TC*TU)} \quad (1)$$

$$DE = \frac{DB \times PCI}{10^6} \quad (2)$$

Sendo: IVC= Índice de Valor Combustível, PCI = Poder Calorífico Inferior (KJ/g), Db= Densidade (g/cm<sup>3</sup>), TC= Teor de cinzas (%), TU= Teor de Umidade (%); DE = Densidade Energética (Gcal/ m<sup>3</sup>).

#### 4.2.1 Teor de umidade

Conforme Moreschi (2012), teor de umidade de uma madeira é dado pela relação entre o peso da água contida no seu interior e o seu peso no estado completamente seco, expresso em porcentagem. Pode ser calculado em base seca ou em base úmida (Equação 3).

Ressalta-se que o teor de umidade da madeira, quando expresso na base úmida, jamais excede 100%, o que significa que a massa de água e a massa de madeira absolutamente seca equivalem a 100%, logo, por diferença, pode-se determinar um dos dois componentes (COUTO & BARCELLOS, 2011).

$$U = \frac{(P_u - P_o)}{P_o} \times 100 (\%) \quad (3)$$

Em que: U = Teor de umidade da madeira, em porcentagem; Pu = peso da madeira úmida; e Po = peso da madeira seca a (103 +/- 2)°C, ou seja, a 0% de umidade.

Iniciou-se com a pesagem das amostras com teor de umidade até então desconhecido (Pu), anotando-se o seu peso. Em seguida as amostras foram levadas à estufa, a 103° C +/- 2 °C, até sua secagem completa. Pesagens periódicas foram realizadas até a observância de peso constante, indicando a total remoção da água. Procedeu-se então nova pesagem com a madeira seca (Po).

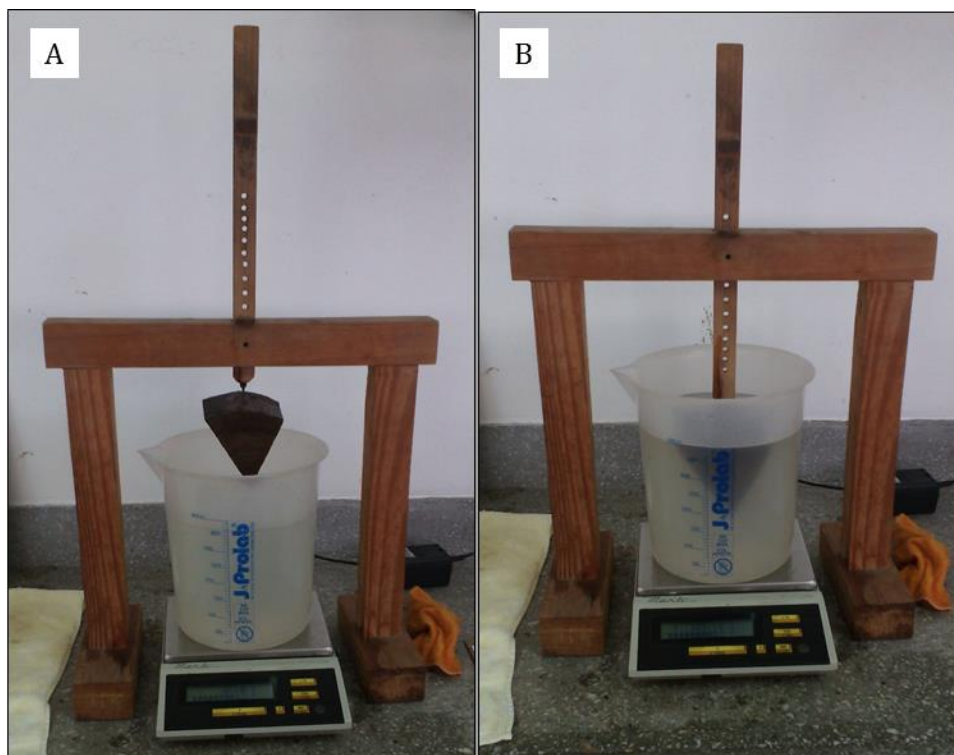
#### 4.2.2 Densidade básica

Retiradas as três cunhas de cada disco, estes foram identificados e submergidos em água, para completa impregnação, com o objetivo de assegurar que o disco apresente saturação até o seu volume acima do ponto de saturação e para eliminar um erro, que decorre de a madeira estar absorvendo água enquanto é pesada.

Na sequência, determinou-se o volume verde pelo método de imersão com a medição do empuxo (imersão da peça em água desloca uma quantidade de líquido igual ao seu volume). A água é um líquido de densidade igual a 1,0 g, dessa forma, o peso de líquido deslocado corresponde ao volume de água deslocado pela peça

imersa, na relação  $1\text{g}/1\text{cm}^3$ . Para tanto, utilizou-se balança analítica, suporte de madeira para mergulho das amostras, recipiente e estufa com circulação forçada de ar. Deve-se atentar para que a cunha seja completamente submersa, evitando que toque na parede ou no fundo do recipiente (Figura 7).

Figura 7 - **A**: Acessórios utilizados para a determinação de volume verde das cunhas. **B**: Submersão da cunha e anotação do peso de líquido deslocado.



Fonte: Autora

Após, as amostras foram secas em estufa ( $105 \pm 2$ ) °C até massa constante, e registrado a massa seca das amostras. O cálculo da densidade básica da madeira ocorreu por meio da equação 4:

$$\rho_b = \frac{P_s}{V_v} \quad (4)$$

Em que,  $\rho_b$ : densidade básica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $P_s$ : peso seco da amostra (g);  $V_v$ : volume verde da amostra ( $\text{cm}^3$ ).



### 4.2.3 Teor de lignina

Para ser empregada nas análises químicas, as amostras foram transformadas em serragem, com auxílio de moinho tipo Wiley, e após foi classificada em agitador mecânico, utilizando-se apenas a serragem que ficou contida na peneira de 60 mesh (equivalente a malha com 0,250 mm de abertura) (Figura 8).

Figura 8 - Moinho à esquerda e agitador mecânico à direita



Fonte: Autora

Para a determinação da lignina Klason, primeiramente foi necessário realizar a retirada dos extrativos, com auxílio de um Extrator de Soxhlet (Figura 9), sendo que foram realizadas duas extrações: com etanol-tolueno (7 horas) e etanol 95% (5 horas).

Após, foram removidos os polissacarídeos totais, ficando como resíduo a lignina propriamente dita, através de hidrólise ácida com ácidos minerais ( $H_2SO_4$  a 72%).

No processo de hidrólise ácida da madeira livre de extrativos, o ácido sulfúrico foi adicionado a 1 g de amostra totalmente seca. Essa mistura permaneceu em banho-

maria a 20°C por 2 horas. Após foi adicionado água deionizada, e as amostras foram transferidas para o cozimento em banho-maria por mais 4 horas (Figura 10), mantendo o volume de água constante, por adição ocasional de água deionizada quente.

Figura 9 - Extrator de Soxhlet, utilizado para a retirada dos extrativos da madeira.



Fonte: Autora

Figura 10 - Processo de fervura das amostras no processo de hidrólise ácida da madeira para retirada dos polissacarídeos totais



Fonte: Autora



Após o cozimento, as amostras passaram por filtragem em cadinhos de vidro de peso previamente conhecido, com auxílio de bomba de vácuo (Figura 11), sendo então levados a unidade de cura a 100°C até peso constante. O teor de lignina foi calculado segundo à equação 5.

Figura 11 - Bomba de vácuo, utilizada na filtragem das amostras.



Fonte: Autora

$$L = \frac{P}{P_2} \times 100 (\%) \quad (5)$$

Sendo que, L: teor de lignina em porcentagem (%); P: peso final da amostra residual; P2: peso inicial da amostra.

#### 4.2.4 Poder calorífico e análise química imediata

Conforme norma NBR 8633 da ABNT, utilizando-se um calorímetro (bomba) automático, foram determinados os valores de poder calorífico (PCS e PCI), sendo expressos em kcal/kg. Já a composição química foi realizada em triplicata, conforme norma NBR 8112 da ABNT.

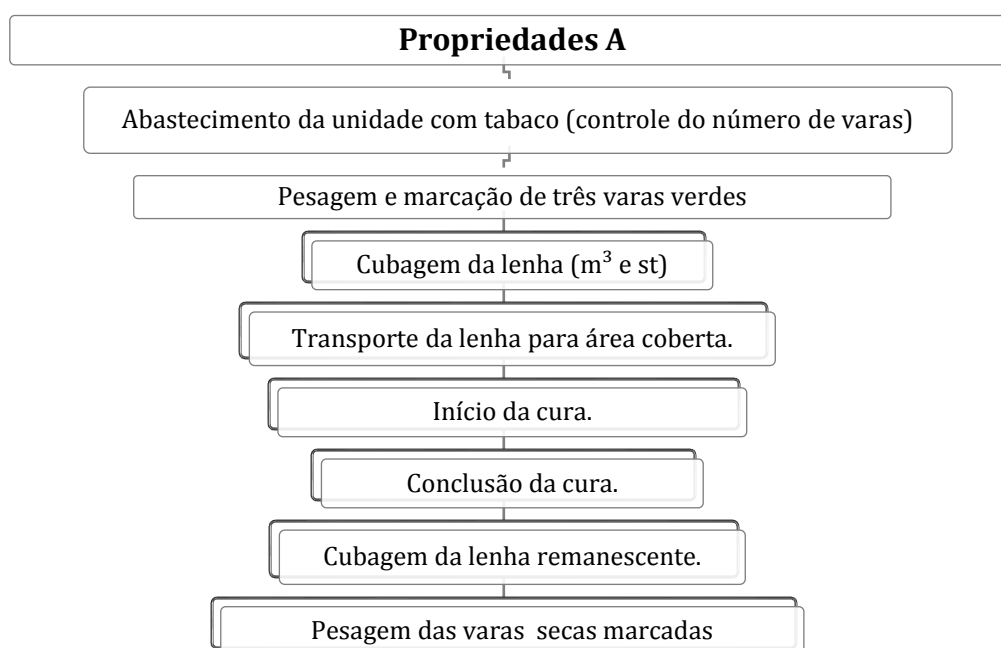
Essas análises foram realizadas pelo Laboratório de Energia de Biomassa (UFPR), localizada no município de Curitiba, PR, que efetuou as análises de acordo com metodologias normatizadas.

#### 4.3 DIMENSIONAMENTO DO CONSUMO DE BIOMASSA NA CURA DO TABACO

##### 4.3.1 Lenha

A partir de visitas à propriedade A foram definidas as estratégias de pesquisa, de acordo com o calendário de cura do tabaco da propriedade. A coleta de dados foi estruturada conforme o fluxograma apresentado na figura 12.

Figura 12 - Fluxograma das etapas do levantamento do consumo de lenha

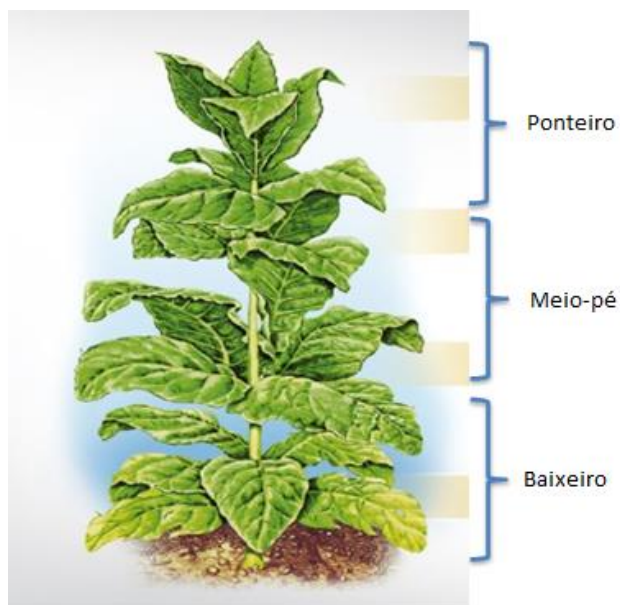


Fonte: Autora

A mesma metodologia foi repetida rigorosamente para cada fração de tabaco curada, ou seja, o tabaco de baixeira, meio do pé e ponteira (Figura 13). O ciclo de cura compreende quatro fases: Amarelção, Murchamento, Secagem da lâmina e do Talo, e dura em média de 132 a 168 horas, com temperaturas ascendentes de 90 a 155° F (32,2 a 68,3°C).

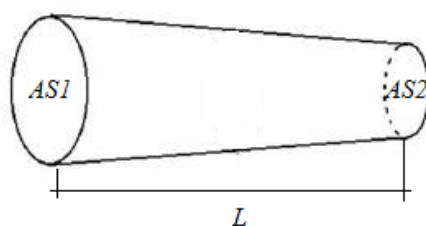
Durante a cubagem, cada torete de lenha foi submetido a três medidas (Figura 14): diâmetro de cada extremidade e comprimento, calculando assim, o volume rigoroso pelo método de *Smalian* (Equação 6). Após a cura, os toretes remanescentes foram novamente cubados, para desconto, obtendo assim o consumo efetivo.

Figura 13 - Posições/Classes colhidas na planta de tabaco da variedade "Virginea"



Fonte: Farias, 2015.

Figura 14 - Cubagem pelo método de Smalian.



Fonte: Autora

$$V = \left( \frac{AS1 + AS2}{2} \right) * L \quad (6)$$

Em que: V: Volume (m<sup>3</sup>); AS1: Área seccional obtida na base da seção (m<sup>2</sup>); AS2: Área seccional obtida na extremidade da seção (m<sup>2</sup>); L: Comprimento da seção (m).

Após cubados, os toretes foram empilhados (Figura 15), sendo a pilha medida para o cálculo do fator de empilhamento, necessário na análise financeira, para transformação do preço pago pelo estéreo para  $m^3$ .

Figura 15 - Empilhamento dos toretes cubados na propriedade A, para posterior transporte para área coberta e consumo na cura do tabaco



Fonte: Autora

#### 4.3.2 Serragem e *pellets*

Da mesma maneira que a anterior, após a análise do calendário de cura da propriedade, a coleta de dados foi estruturada conforme o fluxograma apresentado na figura 16.

A serragem foi colocada no alimentador com o auxílio de um recipiente de 55 litros (Figura 17 A) e peso conhecido, que foi preenchido com serragem e pesado, para obtenção do peso líquido de serragem consumida.

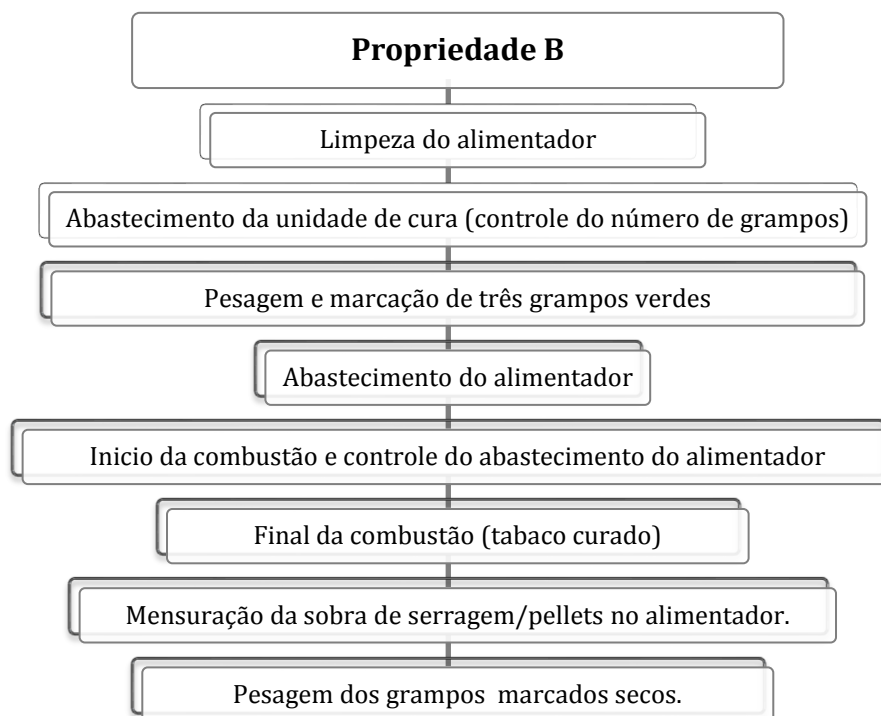
No caso dos *pellets*, como estes são adquiridos em sacos de peso e volume conhecidos, o uso do recipiente foi dispensado, sendo apenas contabilizado o número de sacos consumidos (Figura 17 B).

Para o levantamento do volume e peso de biomassa consumida na cura, elaborou-se uma planilha de controle de abastecimento do alimentador, dessa forma foi registrado o número de sacos colocados ou, no caso da serragem, o número de recipientes. Ainda, se registrou o horário e a data de início da combustão. Ao final, a

biomassa remanescente, não consumida no alimentador, foi retirada e pesada, para se obter o consumo efetivo.

A mesma metodologia foi utilizada para as diferentes porções das folhas de tabaco, isto é, baixeira, meio do pé e ponteira.

Figura 16 - Fluxograma das atividades realizadas na propriedade B para avaliação do consumo de biomassa



Fonte: Autora

Figura 17 - **A:** Recipiente (55l) adaptado pelo fumicultor para abastecer o alimentador com serragem. **B:** Embalagem comercial dos *pellets*.



Fonte: Autora

#### 4.4 DIMENSIONAMENTO E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS RESÍDUOS DA COMBUSTÃO DE BIOMASSA

Todo resíduo da combustão que ficou na câmara e no cinzeiro de cada ciclo completo de cura do tabaco (cerca de 7 dias), que teve o consumo de biomassa verificado, e para todo tipo de biomassa pesquisada, foi pesado e amostras coletadas para a análise de carbono fixo presente, através de análise química imediata, conforme norma NBR 8112 da ABNT. Essas análises foram realizadas pelo Laboratório de Energia de Biomassa (UFPR), localizada no município de Curitiba, PR, que efetuou as análises de acordo com metodologias normatizadas.

#### 4.5 ANÁLISE DOS GASES DE COMBUSTÃO

Para a quantificação das emissões de gases de combustão, foram realizadas medições das concentrações de gases, da temperatura da fumaça e da pressão diferencial, em cada fase da cura do tabaco (Quadro 1), através do analisador de gases de combustão modelo Chemist 500x, da Seitron (Figura 18), o qual tem

sensores de medição de O<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, temperatura e pressão da fumaça, e cálculo de CO<sub>2</sub>.

Quadro 1 - Fases da cura do tabaco

<b>Fase</b>	<b>Atividades</b>	<b>Temperatura (°F)</b>	<b>Período (horas)</b>
Amarelção	O oxigênio ao penetrar nas folhas, através dos estômatos acelera a expulsão de água e dióxido de carbono, favorecendo a conversão em amido e demais atividades enzimáticas dessa fase	90 a 100	48 a 60
Murchamento	Desencadeado o processo de oxidação de polifenóis, com pontos escuros chamados de “guínea” ou teia de aranha	101 a 115	18 a 24
Secagem da lâmina	Fixação da cor e secagem da lâmina	116 a 135	48 a 60
Secagem do talo	Secagem do talo	136 a 155	18 a 24

Fontes: Adaptado de Profigen, 2016.

Uma bomba elétrica interna retira a amostra do gás, através de uma sonda inserida no duto da chaminé. Um filtro retém as partículas e a água condensada, limpando a amostra antes de a bomba a expelir para o tubo coletor, onde os sensores eletrônicos estão expostos aos gases. Quando o gás chega até os sensores, os sinais de saída analógicos são amplificados através de um multiplexor e convertidos em sinais digitais adequados para leitura por um microprocessador. Cada sensor tem sua própria placa de circuito impresso, contendo um amplificador e um chip de memória que contém a identificação do sensor e os dados de calibração (ECIL, 2015).

Para tanto, foram abertos orifícios de 10 mm na estrutura das chaminés, localizados a uma altura de pelo menos 3 vezes o diâmetro delas, para permitir a entrada da sonda do equipamento.



Figura 18 - **A**: Analisador de gases de combustão Chemist 500x. **B e C**: Medição dos gases através da inserção da sonda em orifício aberto na saída das chaminés



Fonte: Autor

Após, os dados foram repassados para um computador através de *software* específico do equipamento, e analisados em planilha de cálculo modelo *Excel*.

Conforme Rodrigues (2011), para se obter a estimativa de taxa e fatores de emissão em massa de poluente, a concentração destes na chaminé medidos pelo analisador de gases, em base seca, deve ser multiplicada pela vazão de gás de exaustão.

Com os dados de pressão e temperatura, analisados pelo aparelho e com o conhecimento do diâmetro da chaminé, foi possível calcular a velocidade e a vazão do gás/fumaça que sai pela chaminé, conforme equações 7 e 8.

$$v = \sqrt{\frac{2(\Delta P)}{\rho}} \quad (7)$$

$$Q = v \times A \quad (8)$$



Em que,  $v$  = velocidade (m/s);  $\Delta P$  = variação da pressão na chaminé (Pa);  $\rho$  = massa específica do poluente (kg/m<sup>3</sup>);  $Q$  = vazão (m<sup>3</sup>/s);  $A$  = área da seção transversal da chaminé (m<sup>2</sup>)

As concentrações médias verificadas de monóxido de carbono e de óxidos de nitrogênio foram comparadas a resolução do CONAMA nº 436/2011 que estabelece padrões máximos de emissões para a combustão de derivados de madeira em caldeiras.

#### 4.6 ANÁLISE ECONÔMICA

Com base em revisão bibliográfica e no acompanhamento das atividades de cura do tabaco das propriedades analisadas, buscou-se indicar as vantagens e desvantagens do ponto de vista técnico e socioambiental para os modelos de unidades de cura observados, e com relação ao manuseio da biomassa, especialmente no que diz respeito a necessidade de mão de obra nas atividades.

Nesse sentido, também foi estimado, com base nas planilhas do Programa Brasileiro GHG Protocol, o montante de metano que supostamente deixou de ser emitido pela decomposição da serragem utilizada na propriedade B, e que supostamente não teria outro destino.

Além disso, para cada tipo de biomassa houve um custo de aquisição, no caso da propriedade A, a lenha é comprada em estéreo. Já a serragem e o *pellet*, na propriedade B, são comercializados em unidades de peso (toneladas ou quilogramas).

As análises de viabilidade financeira dos dois sistemas levaram em consideração os custos e coeficientes técnicos apresentados na tabela 2.

A construção dos fluxos de caixa ocorreu com base nas estimativas de entradas (receitas) e saídas (custos) de cada cenário no tempo. O resultado líquido (receita menos custos) é utilizado como referência, no qual todos os valores são atualizados por meio de fórmulas de acumulação ou desconto de juros.

Desse modo, para a prognose econômica das alternativas de investimentos foram analisados os custos envolvidos, conforme tabela acima. Para avaliar os cenários utilizaram-se métodos que consideram os valores monetários no tempo, principalmente por serem mais confiáveis e eficientes.

Desta forma, os projetos foram avaliados através dos critérios: o valor presente líquido (VPL) e o valor atual equivalente (VAE), também conhecida como benefício periódico equivalente (Quadro 2).

Tabela 2 - Fonte de dados

DADOS	VALOR	FONTE
Preço da Estufa convencional (R\$)	15.000,00	Kannenber, 2014
Preço da Estufa de ar forçado (R\$)	33.000,00	Budny, 2016
Preço do Alimentador (R\$)	7.500,00	Budny, 2016
Consumo de energia (kw/estufada)	150	Budny, 2016
Depreciação (%a.a.)	10	-
Taxa de juros Selic (%a.a.)	13	BCB, 2017
Preço médio do tabaco (R\$/kg) <sup>1</sup>	8,55	Afubra, 2016
Custo de produção <sup>2</sup> (R\$/kg)	6,60	FETAESC, 2015 Boettcher, 2017
Custo da serragem (R\$/ton)	50,00	Masisa, 2016
Custo dos <i>pellets</i> (R\$/Kg)	0,77	Chamape, 2016
Custo da lenha (R\$/estéreo)	52,94	Afubra, 2016
Fator de empilhamento	1,30	-
Custo da lenha (R\$/m <sup>3</sup> )	68,82	-
Produção de tabaco por safra (arroba)	1.300	-
Consumo de lenha (m <sup>3</sup> /arroba de tabaco)	0,06	-
Consumo de serragem (kg/kg de tabaco)	2,49	-
Consumo de <i>pellets</i> (Kg/kg de tabaco)	1,98	-

1. Preço médio pago nas duas últimas safras (2014/15 e 2015/16). 2. Custo médio de produção (excetuando-se custo de biomassa)

Quadro 2 - Critérios de análise econômica para avaliação dos projetos

Critério	Fórmula
Valor presente líquido (VPL)	$VPL = \sum_{j=0}^n R_j(1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j(1+i)^{-j}$
Valor anual equivalente (VAE)	$VAE = \frac{VPL[(1+i)^t - 1](1+i)^{nt}}{(1+i)^{nt} - 1}$

Em que: C<sub>j</sub>=custo no final do ano j; R<sub>j</sub>=receita no final do ano j; i=taxa de desconto; n=duração do projeto, em anos; t=número de períodos de capitalização.

Fonte: Rezende e Oliveira, 2013.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 QUALIDADE DA BIOMASSA FLORESTAL

Os resultados médios dos parâmetros de qualidade da biomassa são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros médios de qualidade das biomassas florestais para energia

Parâmetros	Propriedade A	Propriedade B	
	<i>Lenha</i>	<i>Serragem</i>	<i>Pellets</i>
Teor de Umidade(%)	35,0 ±3,05	42,7 ±1,79	8,4 ±0,61
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	487,8 ±28,63	227,0 ±2,17	522,1 ±0,55
Teor de Lignina (%)	18,9 ±0,03	22,0 ±0,02	28,4 ±1,05
Materiais voláteis (%)	82,8 ±0,12	76,0 ±0,26	79,3 ±0,12
Carbono Fixo (%)	17,0 ±0,14	23,1 ±0,22	19,4 ±0,20
Cinzas (%)	0,23 ±0,03	0,92 ±0,06	1,31 ±0,09
PCS (kcal/kg)	4662 ±42	4647 ±18	4801 ±11
PCI (kcal/kg)	4310 ±40	4301 ±3	4457 ±4
DE (Gcal/m <sup>3</sup> )	2,10	0,98	2,27
IVC	109,01	10,39	88,36
IVC (prático)	65,52	5,33	79,93

A serragem apresentou o menor poder calorífico, densidade energética e índice de valor combustível, além do mais alto teor de umidade. A lenha apresentou o maior teor de materiais voláteis e menor percentual de lignina, o que caracteriza um material de queima mais rápida.

A queima da madeira úmida proporciona menos energia devido ao consumo no aquecimento e vaporização da água. Para que ocorra uma boa combustão, a madeira deve ser utilizada com teores de umidade abaixo de 25%. Teores superiores a 25%, além de diminuir a quantidade de calor, reduzem as temperaturas da câmara de queima e dos gases de escape. Adicionalmente, promovem a formação de crostas de fuligem nas chaminés e interior da câmara de combustão (PEREIRA et al., 2000).

Combustíveis com teores mais elevados de carbono fixo são preferíveis, porque queimam mais lentamente e emitem mais calor. Os voláteis compreendem a parte do combustível que se evapora quando ele é aquecido a altas temperaturas e têm um importante papel na combustão. Após a evaporação, misturam-se com o

oxigênio do ar e entram em combustão. De um modo geral, as madeiras com altos teores de voláteis queimam mais rapidamente (PEREIRA et al., 2000).

Os *pellets* apresentaram o maior poder calorífico, teor de lignina e a melhor densidade energética. Com relação ao teor de lignina, está associado a espécie, pois as coníferas apresentam maiores percentuais desse componente estrutural da madeira. Além disso, em relação ao IVC, o *pellet* demonstrou ser 22% superior.

O teor de umidade, o teor de cinzas, a densidade e o poder calorífico são aspectos considerados essenciais para potencializar a produção de compactados da biomassa com finalidade energética (BRAND, 2010).

Quando comparado à lenha, com umidade na faixa de 25%, o *pellet* tem um poder calorífico útil maior, sendo assim mais competitivo principalmente nas épocas chuvosas, quando o aumento da umidade da lenha é maior (QUIRINO, 2002).

Com relação as informações da Tabela 1, nas análises realizadas percebeu-se que o PCS foi próximo ao informado na embalagem, diferença de cerca de 2%. Porém, o destaque foi o teor de cinzas, superior em mais de 300% do valor informado na embalagem do produto. Uma explicação plausível pode decorrer da forma de armazenamento dos *pellets* na indústria antes de ensacados, com possível contato com poeiras, por exemplo. Cabe destacar que as cinzas são indesejáveis em processos de combustão para energia e também influenciaram o cálculo do IVC.

Segundo Quirino et al. (2005), o poder calorífico superior da madeira, além da umidade, está muito influenciado pela constituição química da madeira, principalmente a lignina e extrativos (resinas, óleos-resinas, matérias graxas, óleos, etc). Desta maneira, as coníferas que apresentam um conteúdo de resinas e lignina maior que as latifoliadas, ostentam conseqüentemente um maior poder calorífico superior, que varia também conforme a parte da árvore que esteja em combustão (casca, nós, ramos, madeira do toco).

O maior poder calorífico em madeiras mais lignificadas são decorrência da maior porcentagem de carbono elementar (65%) em sua composição, quando em comparação com a holocelulose (45%) (PEREIRA et al., 2000).

O PCI (Poder Calorífico Inferior) refere-se à quantidade de energia disponível considerando a água de constituição (teor de hidrogênio) presente no combustível. Ou seja, o calor efetivamente possível de ser utilizado nos combustíveis. Já o PCS (Poder Calorífico Superior) é um valor teórico da quantidade de energia disponível, pois é

obtido em laboratório em ambiente hermeticamente controlado com umidade de 0%, medido através de bomba calorimétrica (BRAND, 2010).

Na comparação de diferentes fontes de energia, a Densidade Energética pode ser considerada a principal característica da biomassa, pois ela revela a quantidade de energia por unidade de volume de um combustível, ela depende da densidade básica, poder calorífico inferior e superior, umidade básica e do teor de hidrogênio da madeira (CARASCHI; GARCIA; VENTORIM, 2012).

## 5.2 EFICIÊNCIA DA COMBUSTÃO DE BIOMASSA NA CURA DO TABACO

### 5.2.1 Consumo de biomassa florestal e sua eficiência na combustão

De maneira geral, o consumo seguiu a tendência: lenha > serragem > *pellets* (Tabela 4). Porém, salienta-se que as unidades de cura apresentam diferentes características, especialmente em relação às câmaras de combustão, não sendo apenas a questão da biomassa florestal como única variável que explique estas diferenças.

Tabela 4 - Consumo médio de biomassa florestal (em kg) e energia consumida (kcal) para cada quilograma de tabaco curado.

Porção do tabaco	Lenha	Serragem	<i>Pellets</i>
Baixeiro	3,43	2,86	2,10
Meio pé	2,63	2,57	2,11
Ponteira	2,06	2,03	1,73
<b>Média (kg de biomassa)</b>	<b>2,71</b>	<b>2,49</b>	<b>1,98</b>
<b>Energia de biomassa consumida (kcal)</b>	<b>11666</b>	<b>10704</b>	<b>8837</b>

O consumo de energia médio (kcal de biomassa/kg de tabaco seco) no sistema com lenha foi de 11.665,73 kcal, com serragem foi de 10.704,11 kcal, enquanto que no sistema com *pellets* o consumo de energia foi de 8.836,65 kcal. Ou seja, em comparação com a lenha, o *pellet* foi 24,25% mais eficiente e em comparação com a serragem, 17,45%. O Quadro 3 estabelece uma relação entre as diferentes fontes de biomassa e o ganho ou perda na comparação entre os biocombustíveis. Isso se explica pela densidade do produto e a umidade do *pellet*, inferior a 10%.

Quadro 3 – Equivalência de consumo da biomassa (em kcal/ kg de tabaco seco)

	Lenha	Serragem	<i>Pellets</i>
Lenha	11.665,73	8,98%	32,02%
Serragem	8,24%	10.704,11	21,13%
<i>Pellets</i>	24,25%	17,45%	8.836,65

Em teoria, a lenha possui a forma mais complexa de combustão dentre os três combustíveis sólidos, devido a menor superfície de contato para queima e elevada umidade, diminuindo o poder de combustão, sendo que para o processo de evaporação da água presente é absorvida certa quantidade de energia (calor) no decorrer da queima. A serragem, apesar do alto teor de umidade, apresenta melhor combustão, já que sendo em partículas, ela tem maior superfície de contato, facilitando a queima. O *pellet*, por ser mais homogêneo e seco, é o melhor tipo de biomassa para queima por ser compactado e apresentar alta densidade.

A fim de obter o máximo de calor, deve-se buscar o maior rendimento da combustão. Porém, para o rendimento calorífico atender às necessidades requeridas, é necessário que isso seja feito de forma econômica, sendo necessário uma combustão eficiente em relação a quantidade de ar e a melhor mistura ar/combustível, e também com transferência do máximo de calor da combustão para o material a ser aquecido (SERFATY, 2007).

Na tabela 5, é possível verificar o peso médio de resíduos da combustão, bem como a representatividade em relação ao total de biomassa consumida. Observa-se que, na unidade de cura convencional esse percentual foi maior, representando 1% de toda a lenha que entrou no processo. Já, no outro extremo, para os *pellets*, houve uma produção de resíduos da combustão de apenas 0,11%.

Conforme as análises químicas desse material coletado, identificou-se a presença de fração orgânica residual após a combustão nas cinzas. O residual da combustão de *pellets* foi o que apresentou menores teores de carbono fixo, indicando uma melhor combustão do material, e com isto, menores perdas de material combustível. A serragem ficou na posição intermediária em relação ao carbono, porém com uma maior porcentagem de material voláteis.

Tabela 5 - Quantidade média e representatividade das cinzas remanescentes do processo de cura do tabaco e análise química imediata de amostras coletadas.

Biomassa	Resíduos da combustão		Composição da cinza remanescente na fornalha		
	Peso médio (kg)	Relação com o consumo de biomassa (%)	Teor de Carbono (%)	Voláteis (%)	Cinzas (%)
Lenha	30,9	1,00	15,96	3,91	80,13
Serragem	6,29	0,37	6,53	4,41	89,06
<i>Pellets</i>	1,85	0,11	0,65	2,54	96,81

No outro extremo, ocorre aproximadamente 16% de carbono fixo nas cinzas da unidade de cura convencional, valor bastante significativo e que indica uma perda considerável de combustível que poderia ser melhor aproveitado. Percebe-se que para a lenha houve o maior teor de carbono, especialmente pela formação de brasa durante a combustão e que devido as dimensões da grelha acabam caindo no cinzeiro e não sendo consumidos totalmente na fornalha.

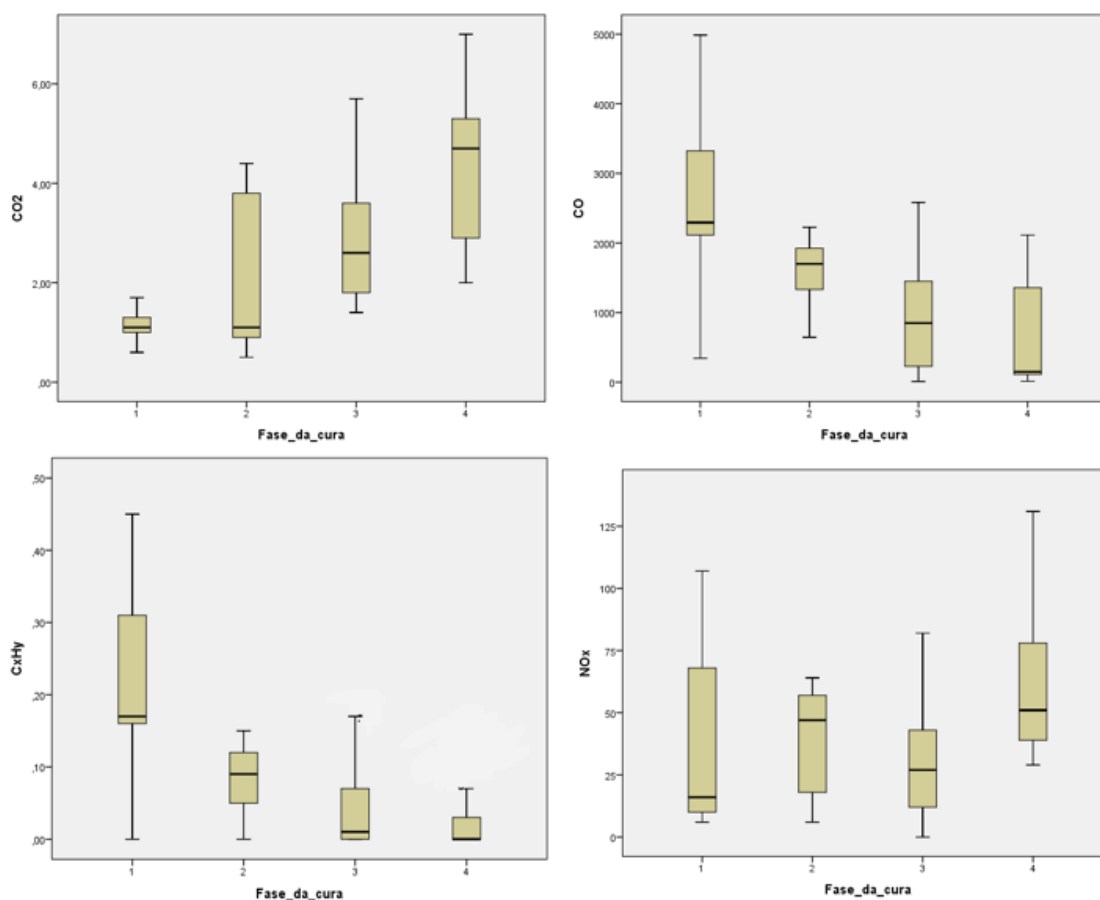
## 5.2.2 Emissões de Gases de Combustão

### 5.2.2.1 Concentrações dos gases de combustão

Os resultados das emissões de poluentes, por fase da cura do tabaco com o uso de lenha, serragem e *pellets* podem ser visualizados nas figuras 19, 20 e 21, respectivamente. As estatísticas descritivas estão apresentadas nos Apêndices.

Observa-se uma tendência semelhante nas emissões de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos totais (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) ao longo da cura. Ambos gases são indicadores de combustão incompleta, que além disso, está relacionado às temperaturas exigidas em cada fase da cura.

Figura 19 - Concentrações médias dos poluentes analisados por fase da cura, com o uso de **lenha** em unidade convencional

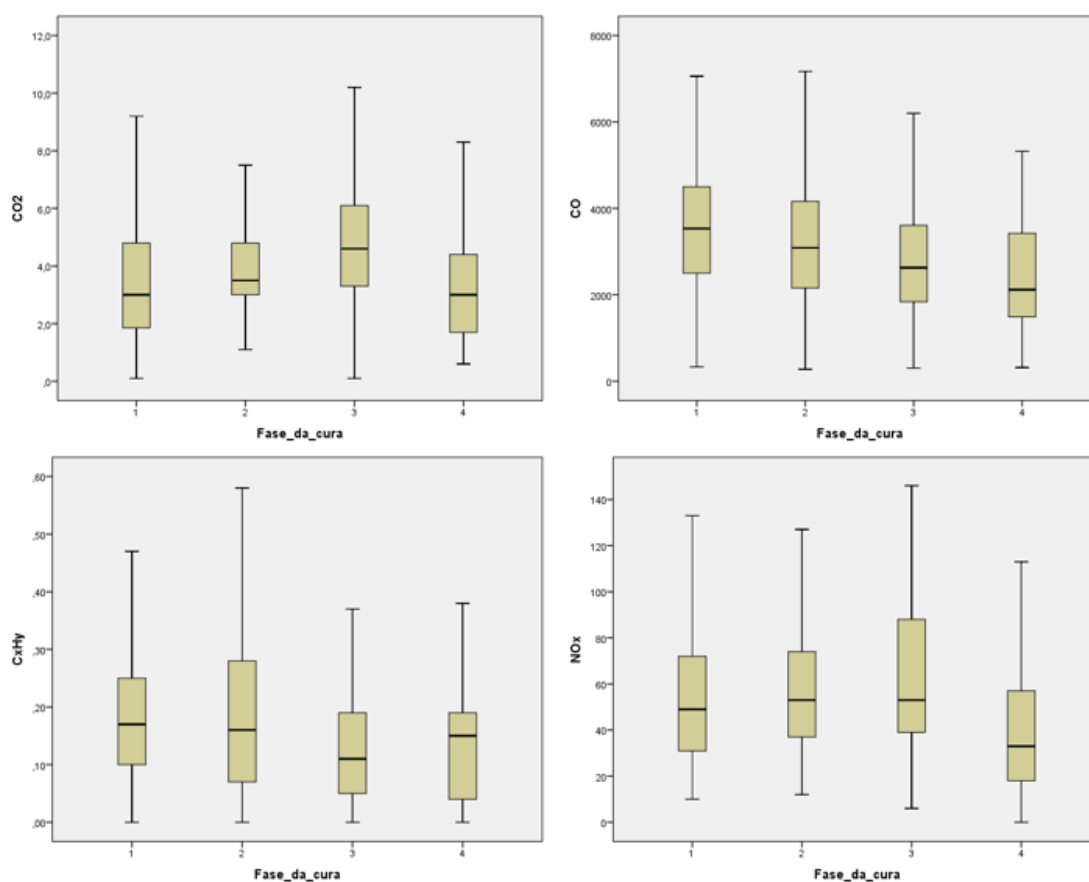


As principais razões da formação de hidrocarbonetos totais nos gases de combustão são basicamente as mesmas para a formação de monóxido de carbono e outros produtos da combustão incompleta: mistura não homogênea entre combustível e ar; má distribuição do tempo de residência dos gases; esfriamento da chama, interrompendo as reações (JOSÉ, 2004).

Embora não sejam incluídas na contabilização das emissões totais de gases de efeito estufa com base no potencial de aquecimento global, as emissões de CO e de NO<sub>x</sub> são relatadas nos inventários de gases de efeito estufa. Esses gases, além de outros compostos, na presença de luz solar contribuem para a formação do ozônio (O<sub>3</sub>) na troposfera e, portanto, são frequentemente chamados de “precursores do ozônio” (RODRIGUES, 2011). A formação dos NO<sub>x</sub> depende da temperatura de queima, da vazão entre ar e combustível e da umidade (LUCON, 2003).



Figura 20 - Concentrações médias dos poluentes analisados por fase da cura, com o uso de **serragem** em unidade de ar forçado



Não existe no país normativas quanto aos limites de emissões para o caso da fumicultura, mais especificamente no processo de cura do tabaco em estufa. Contudo, pode-se levar em consideração uma resolução do CONAMA nº 436/2011 que estabelece padrões máximos de emissões para a combustão de derivados de madeira em caldeiras.

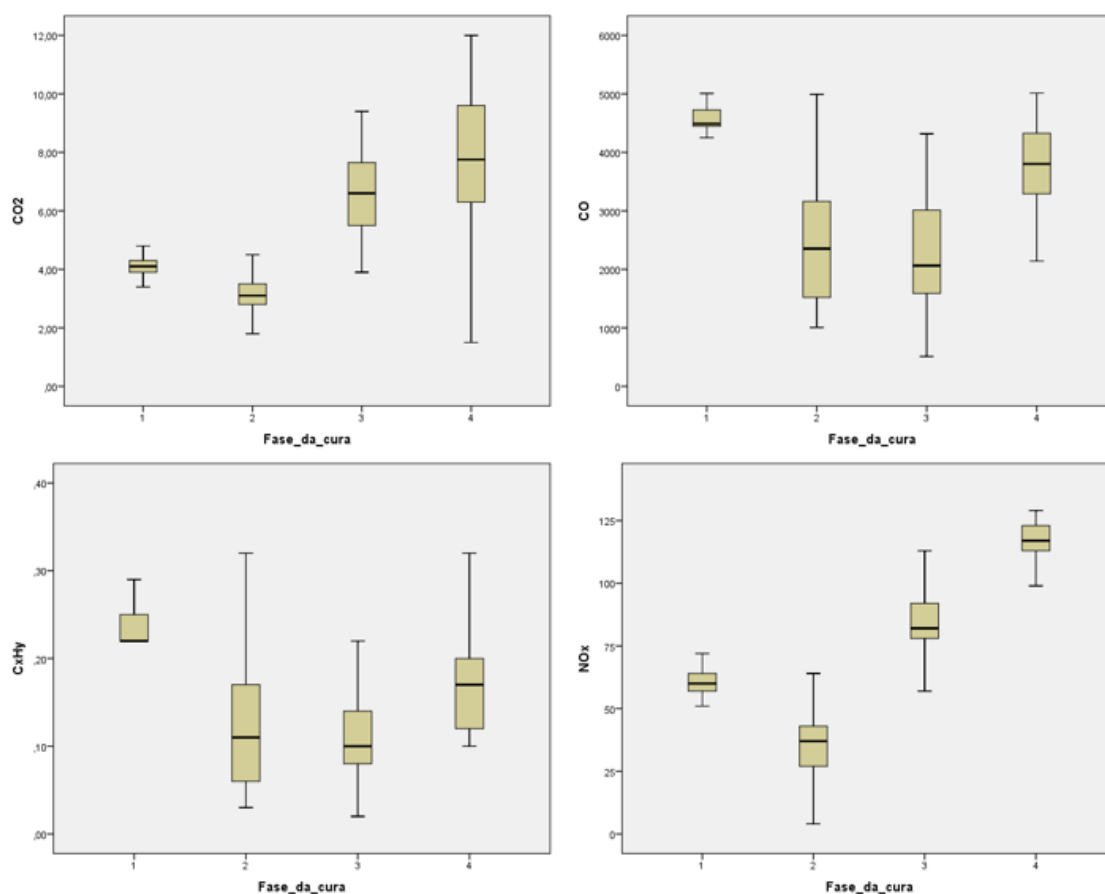
Nessa resolução, os limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de derivados da madeira são, em base seca a 8% de oxigênio (oxigênio de referência), de 650 mg/Nm<sup>3</sup> de NO<sub>x</sub> e 7800 mg/Nm<sup>3</sup> de CO.

Corrigindo os valores de concentração desses poluentes para o oxigênio de referência, encontrou-se no caso da lenha os teores de 5.848,2 mg/Nm<sup>3</sup> de CO e 174 mg/Nm<sup>3</sup> de NO<sub>x</sub>, e no caso dos *pellets*, 7.510,2 mg/Nm<sup>3</sup> de CO e 167,8 mg/Nm<sup>3</sup> de NO<sub>x</sub>, estando, portanto, estas biomassas dentro dos limites de emissão permitidos em lei.

Porém, no caso da serragem, apenas o  $\text{NO}_x$  atendeu a normativa, com 181  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ . O valor verificado de CO foi de 9.663,5  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ , superior em 24% ao valor máximo permitido.

Se faz necessário, portanto, práticas que auxiliem na diminuição da emissão de CO, como por exemplo: a utilização de biomassa com menor teor de umidade, uma melhor regulagem da relação ar injetado na fornalha e combustível e/ou também o uso de algum sistema de filtragem de poluentes na chaminé.

Figura 21 - Concentrações médias dos poluentes analisados por fase da cura, com o uso de **pellets** em unidade de ar forçado



Valores mais elevados de excesso de ar geralmente são encontrados nos fornos que utilizam biomassa, principalmente por ser a alimentação de combustível geralmente de forma manual, o que necessita a abertura da fornalha e assim não se tem o controle da entrada de ar, e também por serem sistemas mais rústicos, mais propícios a apresentarem falsas entradas de ar (vazamentos). O elevado excesso de

ar resulta ainda em uma maior utilização de combustível, pois se perde calor para aquecer o ar que entra, o que também pode resultar em menor eficiência da combustão e maior emissão de CO (ARRUDA, 2009).

#### 5.2.2.2 Vazão da chaminé e taxa de emissão

Com os dados de pressão foi possível calcular a vazão de ar média das chaminés. Esse valor multiplicado pelas concentrações dos gases, nos forneceu as taxas de emissões de cada um dos poluentes analisados (Tabela 6).

Tabela 6 - Vazão de ar da chaminé medida e taxa de emissão dos poluentes analisados para cada biomassa utilizada.

Biomassa	Temperatura (°C)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Kg/h			
			CO <sub>2</sub>	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	NO <sub>x</sub>
Serragem	198,67	622,39	44,71	1,76	0,60	0,033
Lenha	128,11	899,03	43,64	1,13	0,43	0,034
<i>Pellets</i>	151,57	424,91	38,61	1,27	0,40	0,028

No caso dos *pellets*, observa-se uma redução de 11,5% na emissão de CO<sub>2</sub> em comparação a lenha, e de 13,6% quando comparado a serragem. Com exceção da taxa de emissão de CO, os demais valores foram menores para essa biomassa.

Já a serragem, possivelmente devido ao seu alto teor de umidade e pela regulagem do abastecimento da fornalha mais intensa que quando do uso de *pellets*, apresentou as maiores taxas de emissão dos poluentes, a exceção dos óxidos de nitrogênio.

### 5.3 VIABILIDADE ECONÔMICA

#### 5.3.1 Análise financeira

A utilização dos *pellets* ainda necessita de um aumento da oferta do produto. Atualmente há no RS apenas duas empresas em franco funcionamento e atendendo o mercado interno, ambas localizadas na região da Serra Gaúcha. Outras em fase de instalação e também existem licenças em andamento para outras fábricas de *pellets*, porém algumas cujo principal objetivo é a exportação.

A tabela 7 ilustra os parâmetros financeiros calculados para as biomassas a partir dos custos relativos e receitas referentes a uma safra de produção de tabaco. Os respectivos fluxos de caixa têm um horizonte de planejamento de 10 anos e estão apresentados no apêndice.

Tabela 7 - Resumo dos parâmetros financeiros calculados para os cases de estudo

<b>Parâmetros</b>	<b>Lenha</b>	<b>Serragem</b>	<b>Pellets</b>
	<i>Incluindo custo das estufas</i>		
VPL (R\$)	151.331,37	122.498,66	-25.870,43
VAE (R\$/ano)	27.888,79	22.575,22	-4.767,65
	<i>Não incluindo custo das estufas</i>		
VPL (R\$)	198.994,45	189.157,69	148.054,47
VAE (R\$/ano)	36.672,60	34.859,79	27.284,89

A serragem, apesar de ter representado apenas 2% dos custos totais, ainda foi inferior financeiramente à lenha. Salienta-se que o fator determinante foi o maior custo de investimento com a automatização e na unidade de ar forçado.

Apesar disso, por apresentar um baixo custo de aquisição, pois nas madeiras, ela é um passivo ambiental, e o fato de destiná-la satisfatoriamente é benéfica para ambos, especialmente aos produtores que já possuem estufas de ar forçado e que apenas teriam que desembolsar o custo com a aquisição do alimentador.

Os *pellets* representaram 18% dos custos totais na produção de tabaco, determinado pelo seu alto custo de aquisição aliado a distância do pólo produtor, invultando grandes gastos com transporte. O crescimento do setor de densificados, com o aumento da oferta e a instalação de empreendimentos mais próximos a essas regiões de forte base na fumicultura, poderia ser ponto crucial para a viabilidade do uso de *pellets* na secagem da produção agrícola, podendo ser altamente vantajoso para a economia do Estado.

Dessbesell (2014), em estudo de implementação de uma fábrica de *pellets* de madeira na região do Vale do Rio Pardo, estimou o montante de serragem disponível em 69,82 t.dia<sup>-1</sup>, e que o uso destes *pellets* na cura do tabaco poderia suprir 16,19% da demanda de lenha comprada fora da região, gerando uma economia de 33,8 mil m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup> de lenha.

Mesmo sendo mais oneroso, o uso dos *pellets* e suas vantagens em relação a qualidade final do produto, melhoria nas condições ergonômicas, melhoria nas condições de saúde do produtor, menor área de armazenamento (62% menor quando comparado a serragem), melhor qualidade do ar, também devem ser levadas em consideração para a tomada de decisão.

### 5.3.2 Aspectos socioambientais

A produção de fumo no Estado costuma permanecer como atividade de uma mesma família ao longo de diferentes gerações. O que não significa que essa cultura não esteja se reinventando por meio de novas tecnologias e para enfrentar pressões diversas (como de mercado e antitabagistas). Mudanças sugeridas pela indústria e por produtores se tornam solução para diferentes problemas econômicos, produtivos e socioambientais (KANNENBERG, 2014).

A grande quantidade de mão-de-obra necessária à cultura do tabaco também é ponto de investigação. O processo de cura em estufa convencional exige um elevado número de pessoas trabalhando, pois é necessário fazer a colheita, a classificação das folhas, costura, engate nas varas da estufa, alimentação dos fornos a lenha, verificação da temperatura, além de outras tarefas relacionadas.

Além do mais, ter menos mão-de-obra nas lavouras de fumo é tanto uma meta para diminuir o custo de produção quanto uma consequência da escassez de trabalhadores terceirizados.

No modelo de unidade de cura metálica, denominada de ar forçado, não há necessidade da costura das folhas nas varas, pois elas soltas são facilmente prensadas em grampos e estes são dispostos dentro da estufa que contém encaixes próprios para eles. Este modelo potencializa a distribuição do calor pelo interior da estufa com o uso de ventiladores e sistema de ar forçado. Também permite o controle automatizado que ajusta a relação entre bulbo seco e bulbo úmido, além de avisar quando é preciso colocar lenha na fomalha. A inovação é que este modelo reduz em 50% a necessidade de mão-de-obra e elimina algumas operações do processo (CARVALHO JUNIOR; BINOTTO; PEREIRA, 2005).

Outra atividade do processo de cura do fumo que exige bastante mão-de-obra é a alimentação da fomalha. Em geral, se utiliza lenha para queimar e manter a estufa em temperatura constante para a secagem das folhas. Porém, o forno tem que ser alimentado no intervalo de poucas horas. Isto faz com que o agricultor tenha que

permanecer a noite toda acordado acompanhando o processo, uma vez que este não pode ser interrompido.

A necessidade de lenha é outro fator que limita a ampliação das áreas de cultivo do fumo, porque quando se amplia a área plantada, é preciso ampliar as estufas e as áreas destinadas a reflorestamentos das árvores que serão utilizadas no processo de cura, ou no caso de não haver reflorestamentos, a compra da lenha que simboliza quase 10% dos custos do processo de produção de tabaco.

A alternativa é o uso de resíduos agroindustriais na queima, os quais são relativamente abundantes, de fácil acesso e não tem destinação satisfatória na maioria dos casos, o que o torna muitas vezes um passivo ambiental. Além disso, apresenta maior praticidade no uso.

Enquanto a lenha tem que ser reposta a cada poucas horas de maneira manual, os resíduos (como a serragem e *pellets*) permitem automatização, através de outra tecnologia que são os alimentadores especiais. Esse fato libera o produtor de ter que ficar a noite toda acordado alimentando a fornalha.

Com capacidade para 200 quilos e por meio de uma rosca sem fim, esse sistema de alimentação é ligado a um controlador eletrônico que regula a quantidade necessária de serragem/resíduo para manutenção da temperatura no interior da unidade de cura conforme a curva de secagem utilizada. No caso de o alimentador ficar vazio, um sinal sonoro é emitido pelo controlador eletrônico para que seja feito o reabastecimento.

Outra inovação na etapa de alimentação das fornalhas, que é bastante importante, apesar da relativa simplicidade, é aquela que diz respeito ao tamanho das toras. Os agricultores que compram madeira para a secagem do tabaco recebem estas peças de madeira com o comprimento pré-definido de um metro. Entretanto, neste tamanho, a tora fica pesada e de difícil manuseio, visto que, em geral, são as mulheres que fazem este trabalho, enquanto os homens estão na lavoura.

O uso de resíduos agroindustriais, *in natura* ou densificados, em substituição a lenha tende a contribuir num cenário que ultrapassa o discutido até então, pois eleva o patamar de comprometimento do setor com a sustentabilidade da atividade, pois poderia resultar em uma destinação mais nobre da floresta plantada, aumento do sequestro de carbono pelas árvores que não foram transformadas em lenha, redução das emissões de carbono pela decomposição de resíduos orgânicos, ganhos em

qualidade ambiental, melhores condições de ergonomia, redução dos custos da secagem e, conseqüente aumento da rentabilidade das famílias.

Em relação a redução na emissão de metano pela decomposição de resíduos orgânicos, com base nas planilhas do Programa Brasileiro GHG Protocol (FGV, 2016) que apresentam fatores de emissão, foi estimado que, na propriedade B, o uso de serragem para a cura do tabaco permitiu uma redução de 188,86 kg de metano (CH<sub>4</sub>) que seriam emitidos pela decomposição desse material. Além desses, ainda se considera o aumento no sequestro de carbono, decorrente do não corte de árvores destinadas a lenha, e que se manejadas para outros fins, ficarão por mais anos realizando essa atividade de fixação biológica.

Outro ponto diz respeito ao controle da umidade da biomassa a ser utilizada na combustão. Os altos valores acarretam em diversos problemas ao produtor, desde o aumento do consumo, maiores emissões de poluentes e fuligem, ocasionando muitas vezes problemas de saúde, especialmente respiratórios, além da questão de sujeira que se espalha pelas dependências da propriedade.

Outra vantagem do uso dos resíduos como fonte de biomassa para energia, é que se a propriedade possui reflorestamento, este poderá ser manejado para fornecer produtos de maior valor agregado, como toras para serraria, diversificando a produção e tornando o produtor menos dependente de uma única fonte de renda. Além do mais, ele poderá utilizar a madeira dos desbastes para consumo próprio ou venda de lenha excedente.

## 6 CONCLUSÕES

Os *pellets* apresentaram as melhores características físico-químicas para energia, assim também o menor consumo. A serragem, apesar de apresentar a menor densidade, poder calorífico e densidade energética e o mais alto teor de umidade, seu consumo foi inferior em 9% ao da lenha. Isso se deve a maior superfície de contato, que proporcionou uma queima mais eficiente. Além disso, a lenha apresentou o maior teor de materiais voláteis e menor percentual de lignina, o que caracteriza um material de queima mais rápida. Porém salienta-se que os modelos de estufas eram diferentes e indica-se em estudo futuro testar as biomassas florestais em um mesmo modelo ou na mesma unidade de cura, assim como foi realizado para serragem e *pellets*.

Destaca-se o fato de que os resultados para a serragem e *pellets* poderiam ser ainda melhores, visto que as câmaras de combustão não foram dimensionadas para esse tipo de material, mas sim para a lenha. Queimadores específicos para *pellets* ou o uso de leito fluidizado para a serragem, são possíveis adaptações tecnológicas que poderiam trazer grandes resultados para o setor, que sofre diversas pressões mundiais e visam a sustentabilidade e adoção de medidas ecologicamente corretas na produção do tabaco.

O modelo de estufa em que foi utilizado a lenha apresenta maiores dimensões da grelha dentro da fornalha, o que resultou em um aproveitamento inferior da biomassa, havendo grande perda na forma de cinzas, e pela análise química, um alto teor de carbono que deixou de ser consumido.

Com relação as emissões, apenas a serragem não atendeu a legislação que limita a concentração de monóxido de carbono (CO) emitido, sendo superior em 24% ao valor máximo permitido. Indica-se novos estudos com alternativas que diminuam estes teores, como a pré-secagem e/ou maior tempo de armazenamento da serragem antes da combustão, modificações na regulagem do alimentador e nas entradas de ar do sistema.

Com o uso de *pellets*, as taxas de emissão de CO<sub>2</sub> foram menores em 11,5% em comparação a lenha, e em 13,6% comparado a serragem. Esta última apresentou as maiores taxas de emissão de poluentes e a maior perda de energia na forma de calor pela chaminé, possivelmente devido ao seu alto teor de umidade e pela regulagem do abastecimento da fornalha mais intensa que quando do uso de *pellets*.



Ressalta-se que estudos com regulagens de abastecimento do alimentador e melhor manejo da biomassa são essenciais para a melhoria da eficiência energética.

Apesar de técnica e ambientalmente melhor, financeiramente a utilização dos *pellets* ainda necessita de um aumento da oferta do produto, e conseqüente redução do preço de venda.

O uso de serragem para a cura do tabaco permitiu uma redução de 188,86 kg de metano (CH<sub>4</sub>) que seriam emitidos pela decomposição desse material. Além desses, ainda se considera o aumento no sequestro de carbono, decorrente do não corte de árvores destinadas a lenha, e que se manejadas para outros fins, ficarão por mais anos realizando essa atividade de fixação biológica. Indica-se que novos estudos façam uma análise de todo o balanço de carbono envolvido na cura do tabaco.

Na tomada de decisão para escolher qual biomassa e tecnologia a ser utilizada, o produtor deve levar em consideração a qualidade final do produto, as melhorias nas condições ergonômicas e de saúde, área de armazenamento, melhoria na qualidade do ar, entre outros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, Y. V., SILVA, C. M. da; NASCIMENTO, H. R. Energia verde no aproveitamento da biomassa florestal. **Revista da Madeira (REMADE)** - edição nº138 – janeiro de 2014. Disponível em: [http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=1735&subject=Energia+Verde&title=Energia+verde+no+aproveitamento++da+biomassa+florestal](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1735&subject=Energia+Verde&title=Energia+verde+no+aproveitamento++da+biomassa+florestal) Acesso em: 02 nov. 2016.
- AMORIM, E. B., **Gases de efeito unidade de cura produzidos pela combustão de biomassa**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012. 114 p.
- ARRUDA, M. Z. de. **Análise de combustíveis de caldeiras**. 2009. 74 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - (ABNT). **NBR 11.941**: Madeira – Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, março 2003. 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - (ABNT). **NBR 8.112**: Carvão vegetal - Análise imediata - Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - (ABNT). **NBR 8.633**: Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico - Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1984.
- ASSOCIAÇÃO DOS FUMICULTORES DO BRASIL - (AFUBRA). Rastreabilidade do Componente Florestal na Cultura do Tabaco. **Relatório de Pesquisa**. Santa Cruz do Sul, RS: Afubra, 2013. 30p.
- ASSOCIAÇÃO DOS FUMICULTORES DO BRASIL – (AFUBRA). **Fumicultura Mundial**. 2012. Disponível em: <http://www.afubra.com.br/fumicultura-mundial.html> Acesso em: 26 nov. 2016.
- ASSOCIAÇÃO DOS FUMICULTORES DO BRASIL – (AFUBRA). **Fumicultura no Brasil**: Fumicultura Regional. Disponível em: <http://www.afubra.com.br/fumicultura-brasil.html> Acesso em: 22 dez. 2016.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Selic**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/?SELICDIARIOS> Acesso em: 5 jan. 2017.
- BOETTCHER, R. L. Investimento em unidades de cura para tabaco tipo Virginia. **Revista iPecege** 3(1):11-23, 2017. DOI: 10.22167/r.ipecege.2017.1.11

BONATTO, A. **A Fumicultura no Brasil e a Convenção-Quadro para Controle do Tabaco**. 2007. Disponível em: [http://www.deser.org.br/pub\\_read.asp?id=109](http://www.deser.org.br/pub_read.asp?id=109) Acesso em: 27 nov. 2016.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131 p.

BRASIL, Ministério da Agricultura. Secretaria de Produção e Agro energia. **Plano Nacional de Agro energia 2006-2011**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 10/2007**. Disponível em: <http://www.cidasc.sc.gov.br/classificacao/files/2012/08/INM00000010.pdf> Acesso em: 26 nov. 2016.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Efeito Estufa e Aquecimento Global**. 2012. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/informma/item/195-efeito-estufa-e-aquecimento-global> Acesso em: 29 nov. 2016.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 436/2011**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/res43611.pdf> Acesso em: 05 set. 2016.

BRASIL, Portal Brasil. **Brasil é destaque global no uso de biomassa**. 2014. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2011/12/brasil-e-destaque-global-no-uso-de-biomassa> Acesso em: 02 nov. 2016.

BUDNY. **Setor Fumageiro**. Disponível em: <http://www.budny.com.br/produtos/setor-fumageiro> Acesso em: 20 dez. 2016.

CARASCHI, J. C.; GARCIA, D. P.; VENTORIM, G. **Caracterização física e química dos pellets de madeira produzidos no Brasil**. In.: XIII EBRAMEN. Vitória, 2012.

CARVALHO JUNIOR, L.C de; BINOTTO; P.A.; PEREIRA, J.G. de S. **Cadeia Produtiva de Fumo**. 2005. 42 p. Disponível em: [http://novosite.fepese.org.br/portaldeeconomia-sc/arquivos/links/alimentos\\_agronegocio/2005%20CPR%20Fumo.pdf](http://novosite.fepese.org.br/portaldeeconomia-sc/arquivos/links/alimentos_agronegocio/2005%20CPR%20Fumo.pdf) Acesso em: 14 dez. 2016.

CARVALHO JUNIOR., J. A. de; LACAVAL, P. T. **Emissões em processos de combustão**. São Paulo: Editora UNESP, 2003.

CHAMAPE. **Pellets**: energia limpa, renovável e econômica. Disponível em: <http://www.chamape.com.br/pellets> Acesso em: 2 nov. 2016.

COUTO, L.; MULLER, M. D., SILVA, A. G. J.; et al. **Produção de pellets de madeira** – caso da Bioenergy no Espírito Santo. 2008, 7 p.

COUTO, L.C.; BARCELLOS, D.C. As relações água-madeira e sua influência nas suas propriedades físicas. **Biomassa & Energia**, v. 4, n. 2, p. 173-190, 2011. Disponível em: <http://www.renabio.org.br/08-33-LCCouto-B&E-2011-PF-173-190.pdf>

DESSBESELL, L. **Viabilidade econômica do aproveitamento energético da serragem na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo**. 2014. 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2014.

DUTRA, É. J.; HILSINGER, R. A cadeia produtiva do tabaco na região Sul do Brasil: aspectos quantitativos e qualitativos. **Geografia Ensino & Pesquisa**, vol. 17, n. 3, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/12490> Acesso em: 27 nov. 2016.

ECIL. **Manual de Instrução Chemist 500**. 2015.

FARIAS, J. A. de. **Atividade florestal no contexto da fumicultura**: oportunidade de desenvolvimento regional, diversificação, geração de emprego e renda. 2010. 169 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.

FARIAS, J. A, de (Coord.). Programa de rastreabilidade do Componente florestal na cultura do tabaco. **Relatório de Pesquisa**. Universidade Federal de Santa Maria, 2013, 30 p.

FARIAS, J. A, de (Coord.). Estudo da Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental do Aproveitamento de Resíduos de Biomassa Florestal na Cura do Tabaco. **Relatório de Pesquisa**. Universidade Federal de Santa Maria, 2015, 28 p.

FEDERAÇÃO DOS TRABALHADORES NA AGRICULTURA DO ESTADO DE SANTA CATARINA – (FETAESC). **Pesquisa sobre a produção de tabaco em Santa Catarina**. 2015. Disponível em: [http://www.fetaesc.org.br/wp-content/uploads/2015/08/cartilha\\_pesquisa-tabaco-2015-fetaesc.pdf](http://www.fetaesc.org.br/wp-content/uploads/2015/08/cartilha_pesquisa-tabaco-2015-fetaesc.pdf) Acesso em: 26 nov. 2016.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS – (FGV), Centro de Estudos em Sustentabilidade. **Programa Brasileiro GHG Protocol**: Ferramenta de Cálculo. 2016. Disponível em: <http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/ferramenta-de-calculo> Acesso em: 15 set. 2016.

GARCIA, R. **Combustíveis e combustão industrial**. Editora Interciência. Rio de Janeiro, 2002.

GREFF, H. P.; FARIAS, J. A. de; SCHULTE, T. F. Mercado de lenha voltado ao beneficiamento de grãos e tabaco na região central do Rio Grande do Sul. **Caderno de Pesquisa**, série Biologia, v. 27, n. 1, 2015. Disponível em: <https://online.unisc.br/seer/index.php/cadpesquisa/article/view/5785> Acesso em: 25 nov. 2016.

GUERRA, R.R.; KLINGER, A. C. K.; DÖRR, A. C. A Dinâmica da Produção de Fumo em Vera Cruz - RS. **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental** -

REGET, v.10, n.10, p. 2327-2339, 2013. Disponível em:  
<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/download/8758/pdf> Acesso em: 28 nov. 2016.

JANKOWSKY, I.P.; GALINA, I.C.M. **Secagem de madeiras**: Apostila do Curso Técnico do Projeto PIMADS. 2013. Disponível em:  
[http://www.pimads.org/documento\\_atividades/Apostila%20-%20Secagem%20de%20Madeiras..pdf](http://www.pimads.org/documento_atividades/Apostila%20-%20Secagem%20de%20Madeiras..pdf) Acesso em: 20 de abril de 2016.

JOSÉ, H. J. **Combustão e Combustíveis**: Apostila de Química Tecnológica Geral. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). 2004.

KANNENBERG, Vanessa. Novas técnicas para acelerar o trabalho nas lavouras de tabaco. **Zero Hora**, Porto Alegre, 31 jan. 2014. ZH Campo e Lavoura.

LIMA, E.A.; SILVA, H.D.; LAVORANTI, O.J. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 65, p. 09-17, 2011.

LUCON, O. dos S. **Modelo Horus inventário de emissões de poluentes atmosféricos pela queima de combustíveis em indústrias no estado de São Paulo**. 2003. Tese (Pós-Graduação em Energia) – USP, São Paulo, SP, 2003.

MARQUES, B. de A. **Considerações ambientais e exergéticas na fase de pós-colheita de grãos**: estudo de caso do estado do Paraná. 2006. 131 p. Dissertação (Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – UFPR, Curitiba, PR, 2006.

MARTINS, C. A.; FERREIRA, M. A. Considerações sobre a formação de NOx na combustão. In: VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2010. **Anais...** Campina Grande/PB, 2010.

MENDES, L. **Anuário Brasileiro do Tabaco**. 12 ed. Santa Cruz do Sul: Ed. Gazeta, 2015. 128 p. Disponível em:  
[http://www.grupogaz.com.br/tratadas/eo\\_edicao/25/2015/12/20151204\\_575124684/pdf/4996\\_2015tabaco\\_valendo.pdf](http://www.grupogaz.com.br/tratadas/eo_edicao/25/2015/12/20151204_575124684/pdf/4996_2015tabaco_valendo.pdf) Acesso em: 26 nov. 2016.

MOREIRA, J.M.M.A.P.; LIMA, E.A. de; GOULART, I.C.G. dos R. Impacto do teor de umidade e da espécie florestal no custo da energia útil obtida a partir da queima da lenha. **Embrapa**, Colombo, n. 253, 1ª ed., jun. 2012. Informativo Técnico. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/65182/1/CT293.pdf> Acesso em: 05 out. 2016.

MORESCHI, J.C. **Propriedades da Madeira**: apostila. 4ª ed., 2012. Disponível em:  
<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/PROPRIEDADES%20DA%20MADEIRA.pdf> Acesso em: 20 mar. 2016.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Análise da evolução das emissões de GEE no Brasil (1990-2012)**: documento síntese. Observatório do Clima (OC). – São Paulo, 2014. Disponível em: [https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/arquivos.gvces.com.br/arquivos\\_gvces/arquivos/301/SEEG\\_DocumentoSintese.pdf](https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/arquivos.gvces.com.br/arquivos_gvces/arquivos/301/SEEG_DocumentoSintese.pdf) Acesso em: 29 nov. 2016.

OLIVEIRA, G.B. DE; BATISTA, L.F.; AZEVEDO, P.H.P. DE; VIVE, V.A. **O Efeito Estufa**: apostila Curso de Engenharia Ambiental. UNESP - Faculdade de Ciência e Tecnologia – Presidente Prudente/SP, 2009.

PEDRAZZI, C. **Química da madeira**: Apostila. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 2015.

PEREIRA, J.C.D.; STURION, J.A.; HIGA, A.R.; et. al. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. **Embrapa Florestas Documentos**, n. 38, 2000, 113p. Colombo/PR, 2000.

PINTO, E. M., CALIL JUNIOR, C. Estudo teórico e experimental sobre a degradação térmica e os gradientes térmicos da madeira de *Eucalyptus* de uso estrutural exposta ao fogo. **Revista Minerva**, São Carlos - SP, v. 3, n. 2, p. 131-140, 2006.

PRECCI, R. L.; SOBRINHO, J.C.; SILVA, J. de S. e; et al. Fontes de Energia para Secagem. In: LACERDA FILHO, A. F. de; et al. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. 2. ed. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2008. Cap. 4. p. 11-132. Disponível em: [ftp://ftp.ufv.br/dea/poscolheita/LIVRO\\_SECAGEM E ARMAZENAGEM DE CAFE/capitulo4.pdf](ftp://ftp.ufv.br/dea/poscolheita/LIVRO_SECAGEM_E_ARMAZENAGEM_DE_CAFE/capitulo4.pdf) Acesso em: 25 nov. 2016.

PROFIGEN. **Cura**. 2016. Disponível em: <http://www.profigen.com.br/ler/1/349/315/cura> Acesso em: 05 jan. 2017.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Editora IBAMA. Brasília, 2002.

QUIRINO, W.F.; VALE, A.T.; ANDRADE, A.P.A.; et al. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**, nº 89, 2005. p 100-106.

REZENDE, J.L.P. de; OLIVEIRA, A.D. de. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Editora UFV - 3ª Edição. 2013. 385 p.

RODRIGUES, J. M. **Análise das emissões de CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>**: Estudo de caso em usinas termoeletricas a gás natural e carvão mineral. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado profissional PRODETEC). Curitiba, PR, 2011.

RODRIGUES, L. A.; **Efeito das mudanças climáticas na demanda de energia elétrica do Brasil**. 2012. Dissertação – Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, 2012.

SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. **Bioenergia e Biorrefinaria**: Cana-de-Açúcar e Espécies Florestais. Ed. UFV, Viçosa, MG, 2013.

SÃO PAULO, Secretaria de Energia e Mineração. **Biomassa representa 8,8% da matriz elétrica do Brasil**. 2016. Disponível em: <http://www.energia.sp.gov.br/2016/07/biomassa-representa-88-da-matriz-eletrica-do-brasil/> Acesso: 29 de nov. 2016



SCHOENHALS, M.; FOLLADOR, F. A. C.; SILVA, C. da. Análise dos impactos da fumicultura sobre o meio ambiente, à saúde dos fumicultores e iniciativas de gestão ambiental na indústria do tabaco. **Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 016 -037, 2009. Disponível em:

<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=597&article=205&mode=pdf> Acesso em: 24 nov. 2016.

SCHUCH, H. **Créditos ICMS setor fumageiro**. Relatório Final: Comissão de Representação Externa Assembleia Legislativa, Porto Alegre/RS, 2008. Disponível em:

[http://www.al.rs.gov.br/download/ComRepresentacaoExterna/RF\\_ICMS\\_fumageiro.pdf](http://www.al.rs.gov.br/download/ComRepresentacaoExterna/RF_ICMS_fumageiro.pdf) Acesso em: 26 nov. 2016.

SERFATY, R. **Combustão e queimadores**. CENPES. 2007

SILVA, E. M. P. **Implementação de um sistema unificado para gerenciamento de rejeitos**. 2006. 292 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Unicamp, Campinas, SP, 2006.

SINDICATO INTERESTADUAL DA INDÚSTRIA DO TABACO – (SINDITABACO). **Exportações Brasileiras de Tabaco: Ano 2012 e perspectivas para 2013**. 2012.

Disponível em:

[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/camaras\\_setoriais/Tabaco/39RO/App\\_sinditabaco-atualizado.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Tabaco/39RO/App_sinditabaco-atualizado.pdf) Acesso em: 26 nov. 2016.

SOARES, J.M. **Avaliação da qualidade de três diferentes tipos de cavacos de madeira do híbrido *Eucalyptus urophila x grandis***. 2016. 47p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Florestal) – UFPR, Curitiba, PR, 2016. Disponível em:

<http://www.engenhariaflorestal.ufpr.br/engflorestalcoord/tcc/037%20-%20JESSICA%20MACHADO%20SOARES.pdf> Acesso em: 15 de março de 2017.

SOARES, T. S.; CARNEIRO, A. C.O.; GONÇALVES, E. O.; et al. Uso da biomassa florestal na geração de energia. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**. Garça, ano IV, n. 08, agosto, 2006.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). **Tappi Standard Methods**, Atlanta: TAPPI 2004-2005.

TRUGILHO, P. F.; VITAL, B. R.; REGAZZI, A. J.; et al. Aplicação da análise de correlação canônica na identificação de índices de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa/MG, v. 21, n. 2, p. 259 -267, 1997.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, 1992, New York, USA. **Report...** New York, USA: United Nations, 1992. Disponível em:

<http://unfccc.int/resource/docs/a/18p2a01.pdf> Acesso em: 21 nov. 2016.

## **APÊNDICES**



Quadro 3 - Análise descritiva das emissões dos gases de combustão para o uso de **lenha** em unidade de cura de tabaco convencional

Descritivas								
	N	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	Intervalo de confiança de 95% para média		Mínimo	Máximo
					Limite inferior	Limite superior		
CO <sub>2</sub> 1 <sup>a</sup>	338	1,1464	,20843	,01134	1,1241	1,1688	,60	1,70
	654	1,9078	1,34416	,05256	1,8046	2,0110	,50	4,40
	1042	2,8599	1,13186	,03506	2,7911	2,9287	1,40	5,70
	563	4,2456	1,27567	,05376	4,1400	4,3512	2,00	7,00
	Total	2597	2,6975	1,52540	,02993	2,6388	2,7562	,50
CO	338	2597,03	989,386	53,816	2491,18	2702,89	344	4986
	654	1584,72	409,949	16,030	1553,24	1616,19	646	2226
	1042	969,09	763,311	23,647	922,69	1015,49	11	2583
	563	610,20	635,924	26,801	557,55	662,84	15	2114
	Total	2597	1258,19	935,624	18,360	1222,19	1294,20	11
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	338	,2193	,09692	,00527	,2090	,2297	,00	,45
	654	,0850	,04275	,00167	,0817	,0883	,00	,15
	1042	,0439	,05545	,00172	,0405	,0473	,00	,19
	563	,0245	,03953	,00167	,0213	,0278	,00	,15
	Total	2597	,0729	,08321	,00163	,0697	,0761	,00
NO <sub>x</sub>	338	36,04	28,687	1,560	32,97	39,10	6	107
	654	40,14	18,697	,731	38,70	41,57	6	64
	1042	25,21	18,281	,566	24,10	26,32	0	82
	563	57,74	24,357	1,027	55,73	59,76	29	131
	Total	2597	37,43	24,673	,484	36,48	38,38	0

a: Fases da cura: 1=Amarelção; 2=Murchamento; 3=Secagem da lâmina; 4=Secagem do talo

Quadro 4 - Análise descritiva das emissões dos gases de combustão para o uso de **serragem** em unidade de cura de tabaco de ar forçado.

		Descritivas							
		N	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	Intervalo de confiança de 95% para média		Mínimo	Máximo
						Limite inferior	Limite superior		
CO <sub>2</sub>	1	407	3,536	1,9300	,0957	3,348	3,724	,1	9,2
	2	743	3,848	1,3854	,0508	3,748	3,948	1,1	7,5
	3	839	4,904	2,0297	,0701	4,766	5,041	,1	10,2
	4	693	3,310	1,7481	,0664	3,180	3,441	,6	8,3
	Total	2682	3,992	1,8946	,0366	3,920	4,064	,1	10,2
CO	1	407	3442,27	1330,557	65,953	3312,62	3571,92	330	7060
	2	743	3098,68	1341,913	49,230	3002,03	3195,32	281	7170
	3	839	2661,81	1229,310	42,440	2578,50	2745,11	305	6200
	4	693	2398,03	1195,239	45,403	2308,89	2487,18	319	5320
	Total	2682	2833,11	1319,682	25,482	2783,15	2883,08	281	7170
CxHy	1	407	,1760	,10305	,00511	,1660	,1861	,00	,47
	2	743	,1812	,13209	,00485	,1717	,1907	,00	,58
	3	839	,1265	,09034	,00312	,1204	,1326	,00	,37
	4	693	,1228	,08006	,00304	,1168	,1287	,00	,38
	Total	2682	,1482	,10666	,00206	,1442	,1522	,00	,58
NOx	1	407	52,11	26,958	1,336	49,49	54,74	10	133
	2	743	54,87	22,001	,807	53,28	56,45	12	127
	3	839	63,37	33,112	1,143	61,13	65,62	6	146
	4	693	39,25	25,659	,975	37,33	41,16	0	113
	Total	2682	53,07	28,988	,560	51,98	54,17	0	146

Quadro 5 - Análise descritiva das emissões dos gases de combustão para o uso de *pellets* em unidade de cura de tabaco de ar forçado.

		Descritivas							
		N	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	Intervalo de confiança de 95% para média		Mínimo	Máximo
						Limite inferior	Limite superior		
CO <sub>2</sub>	1	82	4,1244	,33131	,03659	4,0516	4,1972	3,40	4,80
	2	236	3,1559	,57650	,03753	3,0820	3,2299	1,80	4,50
	3	176	6,5494	1,46915	,11074	6,3309	6,7680	3,90	9,40
	4	110	7,4009	2,88652	,27522	6,8554	7,9464	1,50	12,00
	Total	604	5,0493	2,33704	,09509	4,8626	5,2361	1,50	12,00
CO	1	82	4581,76	197,625	21,824	4538,33	4625,18	4250	5008
	2	236	2548,34	1088,498	70,855	2408,75	2687,94	1006	4993
	3	176	2324,17	873,818	65,866	2194,18	2454,17	510	4317
	4	110	3827,99	595,446	56,774	3715,47	3940,51	2141	5012
	Total	604	2992,13	1196,271	48,676	2896,53	3087,72	510	5012
CxHy	1	82	,2351	,01887	,00208	,2310	,2393	,22	,29
	2	236	,1228	,06797	,00442	,1141	,1315	,03	,32
	3	176	,1102	,04643	,00350	,1033	,1171	,02	,22
	4	110	,1681	,05085	,00485	,1585	,1777	,10	,32
	Total	604	,1426	,06844	,00278	,1371	,1481	,02	,32
NO <sub>x</sub>	1	82	60,85	5,430	,600	59,66	62,05	51	72
	2	236	33,55	14,329	,933	31,71	35,38	4	64
	3	176	83,56	10,388	,783	82,01	85,10	57	113
	4	110	116,05	7,780	,742	114,58	117,52	99	129
	Total	604	66,85	32,990	1,342	64,22	69,49	4	129



