

ALANA SPANHOL

**PROPOSTA PARA NORMALIZAÇÃO DE PÉLETES DE
BIOMASSA FLORESTAL PRODUZIDOS EM SANTA
CATARINA PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientadora:

Prof. Dra. Martha Andreia Brand

Coorientadores:

Prof. Dra. Polliana D'Angelo Rios

Prof. Dr. Alessandro Bayestorff da Cunha

**LAGES, SC
2015**

Spanhol, Alana

Proposta para normalização de péletes de biomassa florestal produzidos em Santa Catarina para a geração de energia / Alana Spanhol. - Lages, 2015.

106 p.: il. ; 21 cm

Orientador: Martha Andreia Brand

Coorientadores: Alessandro Bayestorff da Cunha
Polliana D'Angelo Rios

Inclui bibliografia

Dissertação (mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2015.

1. Densificados de biomassa. 2. Recurso energético. 3. Normas de qualidade. 4. Péletes. 5. Normalização. I. Spanhol, Alana. II. Brand, Martha Andreia. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título

Ficha catalográfica elaborada pelo aluno.

ALANA SPANHOL

**PROPOSTA PARA NORMALIZAÇÃO DE PÉLETES DE
BIOMASSA FLORESTAL PRODUZIDOS EM SANTA
CATARINA PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Banca examinadora

Orientadora:

Prof. Dra. Martha Andreia Brand
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membros:

Dra. Sabrina Andrade Martins
Soluções e Inovações em Tecnologia de Madeiras Ltda.

Prof. Dr. Luiz Vicente Bocorny Gentil
Universidade de Brasília

LAGES, 22/07/2015

A minha família,
dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter permanecido comigo nos momentos difíceis e não ter me deixado fraquejar.

À minha mãe Jurema e aos meus irmãos, Diego e Amanda, por estarem ao meu lado torcendo pelo meu sucesso.

Ao meu pai Verildo, por toda a ajuda e apoio e pelo exemplo de esforço e dignidade. Apesar de não estar mais aqui fisicamente, sei que, de alguma forma, continua por perto me ajudando sempre.

À Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, pela oportunidade oferecida para a realização do curso de mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina – FAPESC, pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa e concessão da bolsa.

À professora Dra. Martha Andreia Brand, minha orientadora, pelo auxílio, pelos ensinamentos, pela amizade, dedicação e compreensão.

Aos meus coorientadores, professora Dra. Polliana D'Angelo Rios e professor Dr. Alexsandro Bayestorff da Cunha, pelo apoio e pelos conselhos em momentos que precisei.

Aos professores, Dra. Sabrina Andrade Martins e Dr. Luiz Vicente Bocorny Gentil, pela disponibilidade em participar da banca.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pelo conhecimento transmitido.

Aos amigos e colegas, Daniela e Fabrício, que me auxiliaram na coleta de material, levantamento de dados e execução das análises laboratoriais.

A todos os amigos, em especial ao Rafael, Camilla, Táscilla, Juliana, Dionéia e Aline pelo companheirismo, paciência, abraços, risos e palavras de incentivo.

A todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”.

Charles Chaplin

RESUMO

SPANHOL, Alana. **Proposta para normalização de péletes de biomassa florestal produzidos em Santa Catarina para a geração de energia**. 2015. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Área: Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2015.

Os péletes produzidos a partir de biomassa florestal surgem como alternativa na obtenção de energia térmica e elétrica. A fabricação dos compactados de biomassa precisa atender alguns padrões de qualidade que são fundamentados por normas, no entanto sabe-se que, no Brasil não existe uma norma específica para a fabricação desse produto. Desta forma, o trabalho buscou determinar a qualidade dos péletes de biomassa florestal produzidos em Santa Catarina, com base em normas internacionais, visando à proposição de critérios para a elaboração de uma normalização estadual de qualidade para este recurso energético. Foram coletadas nove amostras no estado, nas quais foram determinadas as propriedades: físicas (dimensões, densidade aparente e densidade da unidade), mecânicas (durabilidade e teor de finos) e energéticas (teor de umidade; análise imediata e poder calorífico) dos péletes. Após a realização das análises os dados foram comparados com as normas europeia (CEN/TS 14961), norte-americana (EUA PFI), italiana (CTI-R 04/5), alemã (DIN 51735), sueca (SS 187120), austríaca (Onörm M7135) e com a norma internacional ISO 17225-2. A partir disso, foi elaborada uma proposição de normalização para o estado de Santa Catarina. Os valores médios das propriedades foram: diâmetro de 6,58 mm; comprimento de 17,31 mm; densidade aparente de 663,46 kg/m³; densidade da unidade de 1,70 kg/m³; teor de

umidade de 7,89 %; teor de materiais voláteis de 81,29 %; carbono fixo de 18,33%; teor de cinzas de 0,38 %; poder calorífico superior de 4827 Kcal/kg; durabilidade de 99,07% e porcentagem de finos de 1,05 %. Os péletes produzidos em Santa Catarina apresentam elevada qualidade e atendem as exigências estabelecidas pelas principais normas internacionais. A maravalha de *Pinus* spp. é utilizada por todos os produtores de péletes do estado, dessa forma, uma norma para esse recurso energético não requer subdivisões em função da matéria-prima utilizada. É necessário que a norma apresente categorias em função do uso final do produto, que é direcionado ao setor de serviços e setor industrial. Todas as propriedades analisadas são importantes indicadores da qualidade dos péletes e precisam constar na norma. Diante das informações pesquisadas e resultados obtidos, é possível a proposição de uma normalização para péletes em Santa Catarina.

Palavras-chave: densificados de biomassa, recurso energético, normas de qualidade, péletes, normalização.

ABSTRACT

SPANHOL, Alana. **Proposal for normalization of pellets of forest biomass produced in Santa Catarina for energy generation.** 2015. 106 f. Dissertation (Master in *Forest Engineering* – Area: *Forest Engineering*) – Santa Catarina State University. Forestry Engineering Graduate Program, Lages, 2015.

The pellets produced from forest biomass appear alternatively in obtaining thermal and electrical energy. Biomass compressed manufacturing must meet some standards of quality that are based on standards, however it is known that in Brazil there is no specific standard for the manufacture of that product. In this way, the study sought to determine the quality of the pellets from forest biomass produced in Santa Catarina, based on international standards, aiming at the proposal of criteria for the establishment of a State quality standards for this energy resource. Nine samples were collected in the State, in which they were certain the properties: physical (size, apparent density and density of unit), mechanical (durability and fine content) and energy (moisture content; immediate analysis and calorific value) of pellets. After the completion of the analysis the data were compared with the standards: European (CEN/TS 14961), North American (USA PFI), Italian (CTI-R 04/5), German (DIN 51735), Swedish (SS 187120), Austria (Onörm M7135) and with the international standard ISO 17225-2. From this, a proposal of normalization for the State of Santa Catarina. The average values of the properties were: 6.58 mm diameter; 17,31 mm length; apparent density of 663,46 kg/m³; 1,70 unit density kg/m³; 7,89% moisture content; volatile content of 81,29%; fixed carbon of 18,33%; from 0,38% ash content; 4827 superior calorific value

Kcal/kg; durability of 99,07% and percentage of 1,05% fines. The pellets produced in Santa Catarina feature high The shavings of *Pinus* spp. is used by all producers of pellet formation of the State, thus, a norm for this energy resource does not require subdivisions depending on the raw material used. The standard should present only categories depending on the final use of the product, which is directed at the service sector and the manufacturing sector. All properties reviewed are important indicators of the quality of the pellets and must appear in the standard. On the information researched and results obtained, it becomes possible to propose a standardization for pellets in Santa Catarina. The quality and meet the requirements laid down by the main international standards.

Keywords: densified biomass, energy resource, quality standards, pellets, normalization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Péletes produzidos a partir de biomassa florestal... | 33 |
| Figura 2 - Esquema com as etapas pelas quais passa a matéria-prima até a transformação em péletes. | 36 |
| Figura 3 - Equipamento utilizado para fabricação dos péletes. | 38 |
| Figura 4 - Representação dos diferentes níveis da normalização. | 50 |
| Figura 5 - Localização dos produtores e consumidores de péletes em Santa Catarina..... | 61 |
| Figura 6 - Determinação das dimensões dos péletes com paquímetro digital..... | 63 |
| Figura 7 - Determinação da massa dos péletes com balança de precisão..... | 64 |
| Figura 8 - Determinação da massa de péletes contidos em um Becker de 2,0 litros..... | 65 |
| Figura 9 - Analisador de umidade infravermelho utilizado para determinação da umidade dos péletes. | 66 |
| Figura 10 - Termobalança gravimétrica utilizada para realização da análise imediata. | 67 |
| Figura 11 - Friabilômetro utilizado na determinação da durabilidade mecânica e teor de finos. | 68 |

LISTA DE QUADROS E TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Descrição das amostras de péletes analisadas em Santa Catarina..... | 62 |
| Tabela 2 - Especificações técnicas de péletes segundo a norma europeia. | 69 |
| Tabela 3 - Especificações técnicas de péletes segundo as normas alemã e austríaca..... | 70 |
| Tabela 4 - Especificações técnicas de péletes conforme a norma sueca. | 70 |
| Tabela 5 - Especificações técnicas de péletes segundo a norma italiana. | 71 |
| Tabela 6 - Especificações técnicas de péletes segundo a norma norte-americana. | 71 |
| Tabela 7 - Especificações técnicas de péletes segundo as normas da Organização Internacional de Padronização. | 72 |
| Tabela 8 - Caracterização física (diâmetro e comprimento) dos péletes produzidos e comercializados em Santa Catarina. | 75 |
| Tabela 9 - Caracterização física e mecânica dos pélets produzidos e comercializados em Santa Catarina..... | 78 |
| Tabela 10 - Propriedades energéticas dos péletes produzidos e comercializados em Santa Catarina..... | 81 |
| Quadro 1 - Comparação dos resultados médios obtidos nas análises com as normas internacionais europeia e norte-americana..... | 84 |
| Quadro 2 - Comparação dos resultados médios obtidos nas análises com as normas internacionais sueca e italiana..... | 85 |
| Quadro 3 - Comparação dos resultados médios obtidos nas análises com as normas austríaca e alemã. | 86 |

| | |
|---|----|
| Quadro 4 - Comparação dos resultados médios obtidos nas análises com os valores da norma elaborada pela <i>International Organization for Standardization</i> ... | 87 |
| Tabela 11 - Categorias, propriedades e valores de referência que precisam constar na normalização de péletes em Santa Catarina..... | 92 |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 29 |
| 1.1 | OBJETIVOS..... | 32 |
| 1.1.1 | Objetivo geral..... | 32 |
| 1.1.2 | Objetivos específicos..... | 32 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA..... | 33 |
| 2.1 | PÉLETES DE BIOMASSA FLORESTAL..... | 33 |
| 2.2 | TIPOS DE MERCADOS CONSUMIDORES..... | 34 |
| 2.3 | POSSIBILIDADES DE USO DOS PÉLETES EM SANTA CATARINA..... | 35 |
| 2.4 | PROCESSO PRODUTIVO DE PÉLETES EM SANTA CATARINA..... | 36 |
| 2.4.1 | Moagem..... | 37 |
| 2.4.2 | Compactação..... | 38 |
| 2.4.3 | Climatização..... | 39 |
| 2.4.4 | Empacotamento..... | 39 |
| 2.5 | FATORES QUE INFLUENCIAM A QUALIDADE DOS PÉLETES..... | 39 |
| 2.5.1 | Teor de umidade e tamanho da partícula..... | 40 |
| 2.5.2 | Pressão, temperatura e uso de aditivos..... | 41 |
| 2.6 | CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS PÉLETES PARA USO ENERGÉTICO..... | 42 |
| 2.6.1 | Forma e dimensões..... | 42 |
| 2.6.2 | Densidade da unidade..... | 43 |
| 2.6.3 | Densidade a granel..... | 44 |
| 2.6.4 | Teor de umidade..... | 45 |
| 2.6.5 | Poder Calorífico..... | 45 |
| 2.6.6 | Teor de materiais voláteis e carbono fixo..... | 47 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 2.6.7 | Teor de cinzas..... | 47 |
| 2.6.8 | Durabilidade mecânica..... | 48 |
| 2.6.9 | Teor de finos..... | 49 |
| 2.7 | NORMALIZAÇÃO..... | 49 |
| 2.7.1 | Elaboração das normas..... | 51 |
| 2.7.2 | Normas de qualidade dos péletes..... | 52 |
| 2.7.2.1 | <i>Normas europeias segundo o European Committee for Standardisation.....</i> | 52 |
| 2.7.2.2 | <i>Normas alemãs segundo o Deutsches Institut fur Normung.....</i> | 54 |
| 2.7.2.3 | <i>Normas austríacas segundo o Austrian Standards Institute.....</i> | 55 |
| 2.7.2.4 | <i>Normas suecas segundo o Swedish Standards.....</i> | 56 |
| 2.7.2.5 | <i>Norma italiana segundo o Comitato Termotecnico Italiano.....</i> | 57 |
| 2.7.2.6 | <i>Norma norte-americana segundo Pellet Fuels Institute – Estados Unidos.....</i> | 57 |
| 2.7.2.7 | <i>Norma segundo International Organization for Standardization.....</i> | 58 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 61 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 75 |
| 4.1 | QUALIDADE DOS PÉLETES E ADEQUAÇÃO DESTA QUALIDADE ÀS NORMAS INTERNACIONAIS..... | 75 |
| 4.2 | PROPOSTAS PARA A NORMALIZAÇÃO DOS PADRÕES DE QUALIDADE DOS PÉLETES PRODUZIDOS EM SANTA CATARINA..... | 89 |
| 5 | CONCLUSÃO..... | 95 |
| | REFERÊNCIAS..... | 97 |

1 INTRODUÇÃO

Em meio à crise energética evidenciada no país atualmente, a utilização de combustíveis fósseis é uma alternativa para a geração de energia elétrica, térmica e mecânica. Porém, as questões ambientais e socioeconômicas, combinadas com o esgotamento das reservas, têm feito com que haja procura por novas formas de energia e, aliado a isso, aumentou o interesse pela utilização de fontes energéticas renováveis.

A necessidade de produção de energia barata, limpa e eficiente, subordinada a urgência na otimização do uso dos recursos, através da reciclagem e uso de resíduos, coloca a biomassa residual no foco da pesquisa mundial para a produção de energia renovável. Capote (2012) descreve que através dos estudos a cerca de energia limpa busca-se diminuir a quantidade e disposição inadequada de resíduos, recuperando-os para a produção de energia renovável, diminuindo perdas econômicas e propiciando melhoria da qualidade ambiental.

Segundo Coelho e Goldemberg (2003), a evolução do mercado das tecnologias de produção energética a partir de biomassa, está associada não só ao aproveitamento dos resíduos, mas também a aspectos relacionados à necessidade de minimização das emissões atmosféricas que causam impactos locais ou regionais, quanto à necessidade de redução das emissões dos gases precursores do efeito estufa.

A biomassa residual florestal é uma fonte renovável de energia e está inserida no grupo das biomassas lignocelulósicas. Este recurso pode ser diferenciado em três grandes e principais grupos: o material advindo da colheita florestal (galhos, tocos, folhas e raízes), os resíduos gerados no processamento da madeira (serragem e aparas) e a madeira oriunda de florestas energéticas (SOUZA, 2010), além de florestas plantadas de uso múltiplo (BRAND, 2010).

Segundo dados do Anuário Estatístico da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, o Estado de Santa Catarina possui uma área cultivada de aproximadamente 539.377 mil ha de espécies do gênero *Pinus*, representando 30% dos plantios deste gênero no país (ABRAF, 2014). A madeira produzida é destinada principalmente a indústrias de processamento mecânico, como serrarias, laminadoras e fábricas de compensados, indústrias de papel e celulose e pode ser destinada ainda para a produção de energia de biomassa.

A cadeia produtiva de base florestal é evidenciada pela geração de elevada quantidade de resíduos por meio do cultivo e da exploração, bem como por meio de processos industriais, o que acaba constituindo em um passivo ambiental (COUTO *et al.* 2004). Por sua vez, estes resíduos podem ser convertidos em energia de diferentes formas, como por exemplo, a geração de calor pelo processo de combustão; produção de carvão; combustíveis líquidos; etc. No processo de combustão, a biomassa pode ser utilizada *in natura* ou compactada, pela densificação ou aglomeração da biomassa florestal, na forma de briquetes e péletes.

Segundo Carvalho *et al.* (2013), a mobilização das novas tecnologias de transformação de lenhas, resíduos lenhosos, industriais e agrícolas num produto final que facilite o manuseio, transporte, armazenamento e a utilização, como é o caso dos péletes, constitui uma importante alternativa para a solução do problema ambiental causado pela geração de resíduos, além de ser um fator fundamental para o melhor uso da biomassa como alternativa aos combustíveis fósseis.

Os péletes são utilizados para a geração de energia térmica e elétrica em pequenas ou médias unidades geradoras. Segundo Loução (2008), o uso dos péletes proporciona uma série de vantagens quando comparado ao uso da madeira *in natura*, principalmente quando se refere ao armazenamento, manuseio, aumento da densidade, aumento do poder calorífico,

facilidade de transporte, uniformização do material e redução substancial da ação poluidora.

A indústria de péletes conforme destacado por Couto *et al.* (2004), pode contribuir na geração de renda por meio da comercialização do produto, oportunidade de negócios por meio da comercialização de créditos de carbono, geração de empregos, geração de divisas para o país e desenvolvimento tecnológico do parque industrial.

O Brasil apresenta vários pontos positivos para produção de péletes de biomassa florestal, dos quais se destacam as grandes áreas disponíveis para o reflorestamento, a produção acelerada e consequentemente a elevada disponibilidade de resíduos. Porém, a produção de péletes ainda ocorre de forma desestruturada, sem qualquer padronização ou normalização, uma vez que não existem máquinas peletizadoras adequadas e nem normas oficiais para a produção de compactados de madeira (GARCIA, 2010; NONES, 2014), o que dificulta o fomento a comercialização e impede o crescimento do setor no país.

Embora já existam normas referentes a péletes de madeira, principalmente nos países da Europa e também uma norma de abrangência mundial, a elaboração de um documento normativo nacional ou regional aumentaria a credibilidade e confiabilidade do produto, possibilitaria a emissão de laudos de qualidade que muitas vezes são requeridos pelos próprios consumidores, e também laudos para o mercado internacional que investe cada vez mais na importação de biomassa compactada.

Aliado a isso, para que os péletes passem a fazer parte da matriz energética brasileira é necessário criar subsídios governamentais que estimulem a utilização da biomassa florestal como recurso energético renovável.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Determinar a qualidade dos péletes de biomassa florestal produzidos em Santa Catarina, com base em normas internacionais, visando à proposição de critérios para a elaboração de uma normalização estadual de qualidade para este recurso energético.

1.1.2 Objetivos específicos

Analisar a qualidade dos péletes de biomassa residual florestal produzidos em Santa Catarina para geração de energia, com base em normas internacionais.

Comparar os aspectos qualitativos dos péletes analisados com as especificações exigidas pelas normas internacionais de qualidade do produto.

Elaborar propostas para a normalização dos padrões de qualidade dos péletes produzidos em Santa Catarina.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PÉLETES DE BIOMASSA FLORESTAL

Péletes de biomassa florestal ou péletes de madeira são blocos ou esferas cilíndricas, compactadas e densas, resultantes da aglomeração de material lignocelulósico, que são utilizadas na geração de energia na forma de calor ou eletricidade (DIAS *et al.* 2012; GARCIA *et al.* 2013).

Caraschi e Garcia (2013) acrescentam ainda que pélete é um biocombustível renovável produzido a partir da biomassa agroflorestal, com baixo teor de umidade, de forma homogênea e com elevada densidade energética (ver Figura 1).

Figura 1 - Péletes produzidos a partir de biomassa florestal.



Fonte: Autora (2014).

2.2 TIPOS DE MERCADOS CONSUMIDORES

Por ser um combustível renovável e menos poluente que os derivados do petróleo, os péletes tem sido utilizados principalmente por países que precisam diminuir suas emissões de gases do efeito estufa. Em função disso, o consumo na Europa é bem maior quando comparado ao consumo brasileiro, que em 2012 foi de, aproximadamente, 39.800 toneladas (CARASCHI e GARCIA, 2013).

Os péletes são utilizados em três setores distintos, sendo: setor doméstico, setor de serviços e setor industrial. Garcia *et al.* (2013) descreve que a principal aplicação dos péletes é no aquecimento comercial ou residencial de ambientes, o que caracteriza o setor de serviços e o setor doméstico respectivamente, mas também podem ser utilizados para geração de energia elétrica em plantas industriais ou, até mesmo, em usinas termoeletricas.

Essas informações são reforçadas por Vinterback (2006). O autor descreve que na Europa a maior parte da demanda é destinada ao aquecimento doméstico, principalmente nos países mais frios, como a Suécia. Além disso, os péletes são muito usados na geração de energia industrial.

As formas de uso dos péletes são descritas também por Gentil (2008). Conforme o autor, o pélete é um produto usado como combustível em fornalhas, para aquecimento residencial, fornos e caldeiras das indústrias tanto para geração de calor como potência. Por ter rápida resposta de temperatura e uniformidade de combustão, é usado na indústria alimentícia, siderúrgica, metalúrgica, metal-mecânica, química, petroquímica, cerâmica, vidro, têxtil, entre outras.

2.3 POSSIBILIDADES DE USO DOS PÉLETES EM SANTA CATARINA

Nones (2014) estudando a cadeia produtiva de compactados de biomassa residual florestal no estado de Santa Catarina observou que a mesma apresenta vários segmentos, e estes segmentos são representados por: empresas fabricantes de equipamentos destinados à compactação e fornecedores de matéria-prima, empresas produtoras de compactados de biomassa residual, consumidor final, ambiente organizacional (sindicatos, universidades e empresas que realizam análises tecnológicas da biomassa) e ambiente institucional (legislação e normas referentes a produtos compactados).

O segmento denominado consumidor final é composto por empresas do setor de serviços (hotéis, motéis, academias e pizzarias) e indústrias (NONES, 2014). De acordo com um levantamento realizado pela autora, os consumidores finais identificados na região do Vale do Itajaí (Blumenau) são empresas de galvanização. Já na região Serrana (Lages), o pélete é usado no setor de serviços, ou seja, em academias e pousadas.

Os consumidores pesquisados por Nones (2014) compram péletes de produtores do estado de Santa Catarina, sendo que apenas uma das empresas já comprou pélete produzido no Rio Grande do Sul. Dessa forma, fica evidente a relação existente entre esses segmentos da cadeia produtiva.

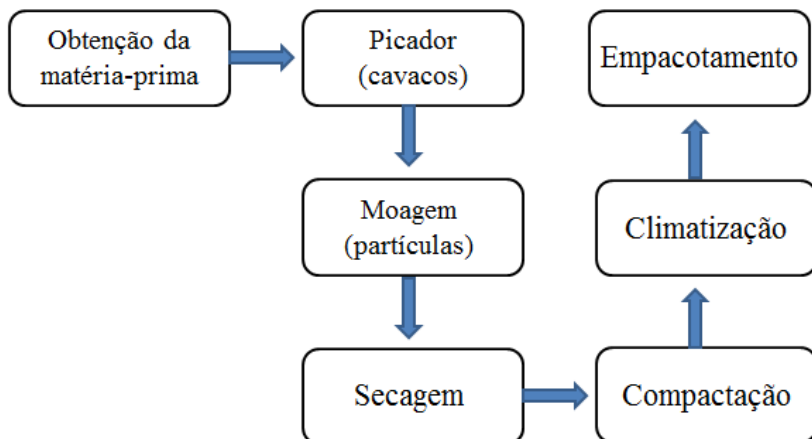
Atualmente, o mercado interno de pequenos usuários absorve toda a produção de péletes catarinense. Estes usuários se caracterizam por consumir de 2 a 10 toneladas de péletes por mês e a venda do produto para estes usuários é o tipo de mercado ideal para o modelo de cadeia que está se estruturando em Santa Catarina. Este fato reforça a ideia de que a exportação do produto ainda é uma realidade que está longe de ser alcançada e manter o foco neste tipo de consumidor pode ajudar o crescimento do setor (NONES, 2014).

2.4 PROCESSO PRODUTIVO DE PÉLETES EM SANTA CATARINA

Os recursos utilizados para a produção de péletes de madeira podem ser: material advindo da colheita florestal (galhos, tocos, folhas e raízes), resíduos gerados no processamento da madeira (serragem e aparas) e a madeira oriunda de florestas energéticas (SOUZA, 2010), além de florestas plantadas de uso múltiplo (BRAND, 2010). De acordo com Garcia (2010), os péletes de madeira geralmente são produzidos com resíduos da indústria madeireira como: serragem, maravalha, aparas, cavacos, galhos e resíduos agroindustriais.

Sobre o processo produtivo dos péletes, Garcia (2010) descreve que o mesmo é constituído de várias etapas, conforme fluxograma da Figura 2.

Figura 2 - Esquema com as etapas pelas quais passa a matéria-prima até a transformação em péletes.



Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de Garcia (2010).

Porém, de acordo com Dias *et al.* (2012), nem todas as etapas apresentadas no esquema são necessárias para a fabricação dos péletes. De acordo com o autor, a necessidade de cada etapa é definida em função da matéria-prima a ser compactada.

Em estudo realizado sobre a dinâmica da cadeia produtiva dos compactados em Santa Catarina, Nones (2014) constatou que as empresas produtoras de péletes no estado utilizam somente resíduos florestais de madeira de *Pinus* spp. como matéria-prima. Além disso, essas empresas não possuem sistema de secadores e, por esse motivo têm preferência pela compra do resíduo seco, denominado maravalha, com umidade entre 8 e 10%.

Outro dado importante é que as empresas produtoras de péletes estão localizadas próximas aos seus fornecedores de matéria-prima, minimizando os custos com transporte, caracterizando-se como uma vantagem econômica (NONES, 2014), além da maior facilidade em adquirir a maravalha seca.

Dessa forma, as principais etapas que constituem o processo produtivo de péletes em Santa Catarina são: moagem, compactação, climatização e empacotamento.

2.4.1 Moagem

Se a matéria-prima for constituída por partículas de grandes dimensões, pode ocorrer entupimento quando introduzida no equipamento de compactação. Nesse caso, é indicado que seja realizada a moagem para ajustar a granulometria das partículas em função do equipamento utilizado (DIAS *et al.* 2012).

Embora existam vários equipamentos para realizar a moagem, o mais empregado é o moinho de martelo (DIAS, *et al.* 2012; NONES, 2014).

2.4.2 Compactação

Na etapa de compactação da matéria-prima, é utilizado o equipamento denominado como peletizadora, ilustrado na Figura 3. Os modelos nacionais conhecidos não são fabricados exclusivamente para utilização de resíduos vegetais. Geralmente, estes equipamentos são projetados para peletizar ração animal e são adaptados para o uso de biomassa agrícola ou florestal (NONES, 2014).

A prensa peletizadora, conforme descrito por Dias *et al.* (2012) consiste em um ou mais rolos que giram contra uma matriz dotada de vários furos. A matéria-prima é colocada entre o rolo e a matriz e a passagem do rolo provoca a extrusão do material através dos furos. Ao sair da matriz, os péletes são cortados com uma faca posicionada na saída dos furos.

Figura 3 - Equipamento utilizado para fabricação dos péletes.



Fonte: Nones (2014).

2.4.3 Climatização

O processo de climatização ou resfriamento e acomodação dos péletes conforme descrito por Garcia (2010) requer atenção, pois esses fatores estão relacionados com a resistência e durabilidade dos mesmos, que saem da peletizadora com temperatura em torno de 95 graus e elevada maciez. O resfriamento ocorre no ambiente, permitindo que a lignina se solidifique reforçando as estruturas internas dos péletes.

2.4.4 Empacotamento

As embalagens para comercialização dos péletes são apresentadas em sacos de 5,0 kg até 50 kg, fardos industriais de 500 kg e 1000 kg ou até em caminhões tanques, assim como os combustíveis líquidos (GARCIA, 2010).

Em Santa Catarina, conforme Nones (2014), o empacotamento é semelhante entre as empresas, onde os péletes são comercializados em sacos plásticos de 15, 25 e 50 kg ou big bags de 750 e 1300 kg.

2.5 FATORES QUE INFLUENCIAM A QUALIDADE DOS PÉLETES

De acordo com Dias *et al.* (2012) existem algumas variáveis relacionadas a matéria-prima e ao processo de compactação que influenciam na qualidade dos péletes. As principais variáveis associadas à matéria-prima são: teor de umidade e tamanho da partícula. Os fatores referentes ao processo de compactação são: pressão aplicada, temperatura e uso de aditivos.

2.5.1 Teor de umidade e tamanho da partícula

O teor de umidade é uma variável importante no processo de compactação. Conforme Dias *et al.* (2012) a água facilita a gelatinização do amido, a fragmentação de proteína e a solubilização de fibras durante a densificação. Porém, umidade em excesso pode provocar explosões devido à formação de vapor e entupimento na alimentação do maquinário. A utilização da matéria-prima muito seca também não é indicada, pois dificulta os mecanismos de ligação entre as partículas.

Larsson *et al.* (2008) produzindo péletes em laboratório constataram que existe forte relação entre a qualidade dos péletes e o tipo de matéria-prima (folhosas e coníferas) e o teor de umidade. Os autores destacam que esses fatores influenciam a durabilidade e a densidade dos péletes e que, o teor de umidade considerado ótimo para a durabilidade é diferente do teor de umidade ótimo para a densidade.

Diversos estudos recomendam que o valor ótimo de umidade esteja entre 5% e 10% (DIAS *et al.* 2012). Para Garcia (2010) os valores precisam estar abaixo de 10%. Já para Nones (2014), o teor de umidade considerado ideal para a matéria-prima destinada à compactação está entre 12% e 15%. A autora destaca que, a matéria-prima adquirida pelas empresas produtoras de péletes em Santa Catarina apresenta teor de umidade entre 8% e 10% e que, por vezes, é necessário realizar a umidificação do material antes de iniciar a peletização.

Quanto ao tamanho da partícula, Dias *et al.* (2012) citam que a variável reflete na qualidade e durabilidade dos péletes. Além disso, exerce influência na porosidade do produto e consequentemente na sua densidade final. Quanto menor for o tamanho da partícula, menor será a porosidade do pélete e maior será a sua densidade.

Estudos mostram que a condição ideal é a presença de partículas de tamanhos diferentes. Dessa forma, ocorre à incorporação das partículas pequenas pelas partículas de maior dimensão, e isso contribui para a elevada resistência dos péletes (DIAS *et al.* 2012).

2.5.2 Pressão, temperatura e uso de aditivos

A aplicação de pressão na biomassa ocorre através dos equipamentos de compactação, e isso favorece diferentes mecanismos de ligação. Em pressões elevadas, os ligantes naturais, tais como amido, proteína, lignina e pectina são extraídos das células vegetais, contribuindo assim, para a interligação e coesão das partículas (DIAS *et al.* 2012).

A temperatura de compactação também é importante porque, de acordo com Dias *et al.* (2012), influencia as propriedades finais do produto. Com o aquecimento, é possível obter produtos mais estáveis com menor dimensão se comparados com materiais de mesma composição, porém compactados sem aquecimento.

Lehtikangas (2001) explica que a coesão que ocorre internamente entre as partículas é causada pelo calor, gerado pela compressão, que amacia e reorganiza a lignina da madeira entre as fibras ligando-as naturalmente, sem ser necessária a utilização de agentes ligantes de partículas (aditivos).

A adição de ligantes só é necessária caso a matéria-prima apresente deficiência de lignina, proteínas, amido, gorduras e carboidratos solúveis que são adesivos naturais da biomassa. A deficiência desses compostos é percebida quando a resistência e a durabilidade dos péletes não estão de acordo com os padrões de qualidade ou com os requisitos de mercado (DIAS *et al.* 2012).

2.6 CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS PÉLETES PARA USO ENERGÉTICO

Para que o produto final atenda a qualidade exigida pelo cliente, é necessário que o mesmo apresente determinadas características. Para péletes, a garantia de qualidade é baseada em parâmetros como: forma e dimensões, densidade da unidade, densidade a granel, teor de umidade, poder calorífico, teor de cinzas, durabilidade mecânica, teor de finos, presença de aditivos e teores dos componentes químicos (principalmente enxofre, nitrogênio, cloro e sódio). Esses parâmetros se relacionam com a efetividade do processo de compactação da biomassa e com a forma de utilização do produto (EUROPEAN PELLET COUNCIL, 2013; DIN CERTCO, 2014; ÖSTRÖM'S NORMUNG INSTITUTE, 2000; SELKIMÄKI e RÖSER, 2008; GARCÍA-MARAVÉ *et al.* 2011; COMITATO TERMOTECNICO ITALIANO, 2004; PELLET FUELS INSTITUTE, 2011; INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2014).

Dentre os parâmetros apresentados pelas normas, foram considerados de maior importância para a caracterização da qualidade dos péletes nesse estudo: os parâmetros físicos (forma e dimensões, densidade da unidade e densidade a granel), energéticos (teor de umidade, poder calorífico e teor de cinzas) e mecânicos (durabilidade mecânica e teor de finos). Nos parâmetros energéticos incluem-se também o teor de materiais voláteis e o teor de carbono fixo, propriedades que não constam nas normas.

2.6.1 Forma e dimensões

São definidas como dimensões dos péletes o diâmetro e o comprimento. O diâmetro do biocombustível depende do

diâmetro da matriz utilizada na compactação, e o comprimento é definido no momento do corte, do lado de fora da matriz.

A forma dos péletes de madeira é regular e cilíndrica em função dos equipamentos utilizados para a produção. Segundo Garcia (2010) essa geometria permite tanto a alimentação automática em um sistema industrial, quanto à alimentação manual, em aquecedores residenciais.

Garcia (2010) destaca ainda que a forma e dimensões são parâmetros que afetam a pureza do combustível, a segurança dos processos e a secagem do produto e ainda influenciam na formação de poeira no transporte e nas ligações intramoleculares.

Thomas e Van der Poel (1996) destacam que as dimensões dos péletes, diâmetro e comprimento, são fatores importantes no que diz respeito à combustão. Estudos mostraram que péletes mais finos permitem uma taxa de combustão mais uniforme do que os mais espessos, especialmente em fornos menores. Já o comprimento, afeta as propriedades de alimentação do combustível e, quanto mais curto o pélete mais contínuo o fluxo devido a maior facilidade de arranjo do material.

Quanto às dimensões, Dias *et al.* (2012) citam que os péletes normalmente possuem diâmetro entre 6 e 16 mm e comprimento de 25 a 30 mm. Porém esses valores podem variar, de acordo com a demanda do cliente, ou mesmo para atender especificações internacionais.

2.6.2 Densidade da unidade

A densidade da unidade dos péletes é a quantidade de massa contida em um único grânulo do biocombustível.

A densidade dos compactados, de acordo com Dermibas *et al.* (2000), depende da densidade da matéria-prima lignocelulósica de origem, da pressão da peletização e também sofre influência do tempo e temperatura do processamento.

Dias *et al.* (2012) destacam que, quanto maior a umidade e o tamanho das partículas, menor a densidade do produto final e, quanto maior as temperaturas e pressões do processo, maior a densidade dos produtos. Os autores ainda citam que a densidade da unidade é um fator importante para o controle da qualidade do produto.

2.6.3 Densidade a granel

De acordo com Brand (2010) a densidade expressa à quantidade de massa contida em um determinado volume de material.

Quando a determinação é realizada pelo método a granel, onde um recipiente de volume conhecido é preenchido com o material a ser analisado, a densidade sofre influência do teor de umidade e também da granulometria das partículas, pois quanto menor o tamanho das partículas, maior será a acomodação destas no recipiente, resultando em maior peso e, conseqüentemente, maior massa específica aparente a granel (BRAND, 2010).

De acordo com o *Comitato Termotecnico Italiano* – CTI (2004) a densidade a granel é um parâmetro importante no que se refere à comercialização dos péletes. A densidade a granel está relacionada com o manuseio e estocagem, transporte e plano logístico (GARCIA, 2010). Além disso, Dias *et al.* (2012) destacam que essa característica é influenciada também pela forma da embalagem, acondicionamento e empilhamento do material. Quanto menor a densidade a granel menor será a densidade energética da pilha ou aglomerado. Assim, existe influência negativa sobre os custos de transporte, os quais serão maiores, e também sobre a capacidade de armazenamento, a qual será menor, afetando tanto o produtor como o consumidor final.

2.6.4 Teor de umidade

O teor de umidade ou conteúdo de umidade é a quantidade de água ou umidade presente na biomassa (BRAND, 2010). Segundo *Dias et al.* (2012) o teor de umidade do biocombustível, depende do tipo de matéria-prima e do processo de compactação. Os combustíveis sólidos, conforme Mendes (2011), normalmente apresentam elevado teor de umidade, com exceção dos péletes e briquetes.

O teor de umidade influencia o poder calorífico do combustível. Isso ocorre, pois, parte da energia libertada durante o processo de combustão é consumida na vaporização da água correspondente à umidade do material, ficando indisponível para qualquer utilização energética posterior (CARVALHO, 2011). Além disso, Garcia (2010) também afirma que elevados teores de umidade acarretam perdas de energia, baixa ignição e durabilidade, além de menor tempo de estocagem.

De acordo com Brand (2010) a variação no teor de umidade do material que é admitido para o sistema de combustão é também um dos grandes responsáveis pelo aparecimento de material particulado (normalmente carbono), junto aos gases produzidos durante a queima. Tais partículas (fumaça escura e densa), resultante de material combustível não totalmente queimado, são causadores de problemas de poluição ambiental.

2.6.5 Poder Calorífico

O poder calorífico é a quantidade de calor total (energia térmica) que é liberada durante a combustão completa de uma unidade de massa ou de volume de combustível e pode ser expresso em Kcal/kg ou Kj/kg e Kcal/m³ ou Kj/m³ (BRAND, 2010).

O poder calorífico pode ser superior (PCS) ou inferior (PCI). O PCS é dado pela soma da energia libertada na forma de calor e a energia gasta na vaporização da água que se forma numa reação de combustão (NUNES, 2012). Já o PCI é resultante da combustão sob pressão constante, ao ar livre, sem a condensação de água formada (DOAT, 1977). O poder calorífico inferior é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989), somente para combustíveis que não possuem água além do hidrogênio de constituição.

De maneira mais sucinta, Brand (2010) descreve que o PCI se refere ao calor que efetivamente pode ser utilizado nos combustíveis, enquanto que o PCS é mais elevado, em função de sua avaliação em laboratório. Conforme a autora, o poder calorífico inferior, ao contrário do poder calorífico superior, é a quantidade de energia disponível, quando não se considera o calor latente de condensação da umidade presente nos produtos de combustão.

Portanto, para a biomassa, o poder calorífico é influenciado pela composição química e tipo de biomassa, pelo teor de umidade e pelo teor de cinzas. Quanto maior o teor de umidade, menor será a quantidade de energia útil para o sistema de geração de energia e elevados teores de cinzas contribuem para a redução do poder calorífico por unidade de massa (BRAND, 2010). Essa correlação inversa do teor de cinzas com o poder calorífico é explicável, segundo Quirino (1991), visto que a cinza é material de origem mineral, não orgânico, inerte e não combustível, e o poder calorífico depende da quantidade de material orgânico presente no combustível.

2.6.6 Teor de materiais voláteis e carbono fixo

O teor de materiais voláteis, expressa a facilidade de se queimar um material e se determina como a fração em massa do combustível que se volatiliza durante o aquecimento de uma amostra padronizada, em atmosfera inerte, até temperatura de aproximadamente 850°C, por 7 minutos. Enquanto que a fração de carvão que permanece na amostra após o aquecimento é chamada de carbono fixo (BRAND, 2010).

O percentual de carbono fixo e de materiais voláteis variam em função do tipo de biomassa. De acordo com Brand (2010) conhecendo o percentual de materiais voláteis, pode-se estimar o grau de combustão de um combustível. Ou seja, para combustíveis com índice de voláteis reduzido e elevado índice de carbono fixo, a queima será mais lenta. Dessa forma, esses combustíveis irão requerer longo tempo de residência na fornalha para a queima completa.

A determinação da fração volátil conforme Vissotto *et al.* (2012) é importante para a previsão da chama a ser gerada pelo combustível sólido. Durante a devolatilização há o desprendimento de gases combustíveis formados durante a elevação da temperatura da biomassa. Os gases gerados são praticamente metano, monóxido de carbono e hidrogênio, além de gases não combustíveis, como oxigênio e nitrogênio. O conhecimento da fração volátil pode auxiliar no dimensionamento do volume de uma fornalha e fornecer conhecimento sobre a dinâmica da chama formada durante a oxidação ou redução da biomassa.

2.6.7 Teor de cinzas

O teor de cinzas é descrito por Dias *et al.* (2012) como a porcentagem em massa de cinzas após a queima completa do briquete ou pélete. Vissotto *et al.* (2012) também destaca que as cinzas são o material residual da oxidação completa do

combustível sólido, composta basicamente por constituintes inorgânicos, ou seja, constituintes minerais do combustível.

O teor de cinzas da biomassa florestal pode ser aumentado por contaminação durante os processos de colheita, transporte e manuseio (BRAND, 2007) e pode variar em função da espécie, posição da biomassa no vegetal, além de ser influenciada pelo local de crescimento (BRAND, 2010).

As cinzas são componentes indesejáveis nos processos industriais e, principalmente no uso doméstico da biomassa, pois quanto maior o teor de cinzas menor o poder calorífico do material e consequentemente maior a quantidade de resíduos (GARCIA 2010).

Além disso, Brand (2010) destaca que a cinza não se queima permanecendo no local do processo e exigindo um sistema próprio para sua retirada e, pode ser um material abrasivo, causando problemas de corrosão em equipamentos metálicos. Porém, conforme a autora, de modo geral, os teores de cinzas apresentados pela biomassa não atingem níveis elevados que possam vir a causar problemas quando do seu uso como combustível.

2.6.8 Durabilidade mecânica

Santos (2012) define a durabilidade mecânica ou friabilidade como a capacidade do combustível sólido em gerar finos quando submetidos a abrasão ou queda, ou seja, fragmentar-se em pedações menores.

A durabilidade é uma propriedade que está intimamente ligada à qualidade física de biocombustíveis sólidos, tais como briquetes e péletes, os quais são susceptíveis ao cisalhamento que pode levar à formação de partículas finas durante o transporte, transbordo e armazenamento (TEMMERMAN *et al.* 2006).

Conforme o CTI (2004) a durabilidade fornece uma indicação da resistência e grau de prensagem do material e está relacionada com questões de segurança, como: a possibilidade de fogo durante o manuseamento do material, a manutenção e gestão de instalações de combustão e o funcionamento adequado dos sistemas de transporte e de energia, especialmente em pequenas centrais.

2.6.9 Teor de finos

O teor de finos é expresso como uma percentagem em peso do compactado e representa a fração de pó com diâmetro inferior a 3,15 mm, que são geradas pelas matrizes durante a produção dos grânulos (CTI, 2004).

Da mesma forma que a durabilidade, o teor de finos é um parâmetro que revela a qualidade do processo de produção. Quanto maior a durabilidade mecânica dos péletes menor será o teor de finos gerado.

Segundo Temmerman *et al.* (2006), a formação de finos ou poeira prejudica a escolha do produto pelo consumidor e afeta a saúde do trabalhador. Além disso, pode prejudicar os sistemas de alimentação de caldeiras e levar a combustão heterogênea. Finalmente, a poeira pode contribuir para a combustão e risco de explosão durante manuseio, armazenamento, transbordo e transporte.

2.7 NORMALIZAÇÃO

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2014), a normalização é o processo de formulação e aplicação de regras. O estabelecimento dessas regras, de forma objetiva e neutra, possibilita que o produto, projeto, processo, sistema, pessoa, bem ou serviço atenda às finalidades a que se destina.

Norma é um documento estabelecido por consenso, e aprovado por um organismo reconhecido que fornece diretrizes ou características mínimas para atividades ou para seus resultados. Qualquer norma é considerada uma referência no mercado a que se destina, sendo por isso, usada em processos: de regulamentação, de acreditação, de certificação, de metrologia, de informação técnica e nas relações comerciais cliente – fornecedor (ABNT, 2014).

O alcance geográfico, político ou econômico de uma norma, conforme a ABNT (2014), pode ser de vários países ou um país, de uma região, de associações ou grupos de empresas. Assim, são definidos os níveis da normalização, que são normalmente representados por uma pirâmide, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Representação dos diferentes níveis da normalização.



Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2014).

No nível internacional estão as normas técnicas de abrangência mundial, estabelecidas por um organismo internacional de normalização. São reconhecidas pela Organização Mundial do Comércio (OMC) como a base para o comércio internacional. No nível regional estão as normas técnicas estabelecidas por um organismo regional de normalização para aplicação em um conjunto de países como a Europa ou o MERCOSUL (ABNT, 2014).

O nível nacional se refere a normas emitidas por um organismo nacional de normalização. Aplicam-se ao mercado de um país e, frequentemente, são reconhecidas pelo seu ordenamento jurídico como a referência para as transações comerciais. No nível empresarial são normas elaboradas por uma empresa ou grupo de empresas com a finalidade de orientar as compras, a fabricação, as vendas e outras operações (ABNT, 2014).

Ainda, conforme a ABNT (2014), o nível de associação envolve normas desenvolvidas no âmbito de entidades associativas e técnicas para o uso de seus associados. Mas, também, chegam a ser utilizadas de forma mais ampla, podendo se tornar referências importantes no comércio em geral.

2.7.1 Elaboração das normas

O processo de elaboração de uma norma brasileira, de acordo com a ABNT (2014), se inicia quando existe uma demanda que pode ser apresentada por qualquer pessoa, empresa, entidade ou organismo regulamentador que estejam envolvidos com o assunto a ser normalizado.

A pertinência da demanda é analisada, e se o tema ou assunto for relevante é levado ao Comitê Técnico correspondente para inserção no Programa de Normalização Setorial (PNS). O assunto é discutido amplamente pelas Comissões de Estudo dos Comitês Técnicos, com a

participação aberta a qualquer interessado. Quando se chega a um consenso é gerado um Projeto de Norma (ABNT, 2014).

O Projeto de Norma é então, submetido à Consulta Nacional, para que as partes interessadas o examinem e emitam as suas considerações, enviando seus comentários e sugestões. Após a análise do resultado da Consulta Nacional, delibera-se se o Projeto de Norma será aprovado ou não como norma brasileira (ABNT, 2014).

2.7.2 Normas de qualidade dos péletes

As normas técnicas, conforme destacado por Dias *et al.* (2012), tem a função de apresentar um conjunto de procedimentos para análises de diversos tipos de produtos, inclusive péletes e briquetes. O objetivo finalístico destas normas é garantir a uniformidade da biomassa densificada e diminuir as barreiras mercadológicas, criando assim, um mercado em que os biocombustíveis sólidos possam ser comercializados entre produtores e usuários de diferentes regiões.

Alguns países como Alemanha, Áustria, Suécia, Itália e Estados Unidos possuem normas próprias para biocombustíveis sólidos. No continente europeu também existem normas referentes a compactados que são adotadas por diversos países. Além disso, em 2014, foi elaborado e publicado pela Organização Internacional de Normalização (ISO) um documento que apresenta parâmetros e métodos para a caracterização de biocombustíveis sólidos em nível mundial.

2.7.2.1 Normas europeias segundo o European Committee for Standardisation

A União Europeia, através da Comissão Técnica 335 do Comitê Europeu de Normalização (CEN TC 335) estabeleceu,

desde 1995, as formas e propriedades relevantes a combustíveis sólidos, que fornecem as instruções para as análises, as formas, as classes, as propriedades e as características químicas e físicas que precisam ser fornecidas (GARCIA, 2010).

No ano 2010 foi publicada a norma EN 14961: *Solid biofuels – Fuel specification and classes*, a qual apresenta seis subdivisões, sendo: Parte 1: *General requirements*; Parte 2: *Wood pellets for non-industrial use*; Parte 3: *Wood briquettes for non-industrial use*; Parte 4: *Wood chips for non-industrial use*; Parte 5: *Firewood for non-industrial use*; Parte 6: *Non-woody pellets for non-industrial use* (AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE, 2010).

A norma CEN/TS 14961-2: *Solid biofuels – Fuel specification and classes – Part 2: Wood pellets for non-industrial use*, foi desenvolvida no sentido de proceder a uniformização de critérios e o desenvolvimento de um sistema de normalização europeu único para os péletes de madeira. A mesma tem como objetivo garantir o fornecimento de aglomerados de madeira de elevada qualidade para fins de aquecimento e cria, essencialmente, uma plataforma para um programa de etiquetagem (selo ENplus) (CARVALHO, 2011).

Conforme o *European Pellet Council – EPC* (2013), o programa de certificação ENplus abrange três classes de qualidade de péletes com diferentes requisitos de matéria-prima utilizada, bem como as características do pélete de madeira e as propriedades a serem caracterizadas e obedecidas (incluindo o uso de aditivos). Estas correspondem às classes da EN 14961-2 e são as seguintes: a ENplus-A1, a ENplus-A2 e a EN-B.

Quanto a matéria-prima, a classe ENplus-A1 permite a utilização de madeira roliça e resíduos não tratados quimicamente da indústria de processamento de madeira. Na classe ENplus-A2 podem ser utilizadas árvores inteiras sem raízes, troncos, resíduos de abate, casca e resíduos e sub-

produtos não tratados quimicamente da indústria de processamento da madeira. E a classe EN-B permite o uso de madeira de florestas, plantações e outra madeira virgem, resíduos e subprodutos não tratados quimicamente da indústria de processamento da madeira e madeira não tratada quimicamente (EPC, 2013).

Em relação ao uso de aditivos, o ENplus estabelece os mesmos requisitos para as três classes. Conforme descrito pelo EPC (2013), aditivo é um material que é introduzido na produção de péletes ou é adicionado após a produção, com o objetivo de melhorar a qualidade do combustível, reduzir as emissões ou tornar a produção mais eficiente.

Os aditivos são autorizados a um máximo de 2% da massa total dos péletes. A quantidade de aditivos na produção é limitada a 1,8% da massa total, ao passo que na pós-produção, a quantidade de aditivos é limitada a 0,2% da massa dos péletes. O tipo do material, nome comercial e a quantidade de aditivos necessitam ser documentados. Água, vapor e calor não são considerados aditivos (EPC, 2103).

Além disso, conforme o *European Pellet Council* (2014), a classe ENplus-A1 define o produto usado em caldeiras e aquecedores domésticos, em que os péletes produzem menor quantidade de cinza e preenchem os mais elevados requisitos de qualidade. Já a classe ENplus-A2 é usada em aplicações maiores e produz mais cinza. Os péletes da classe EN-B são destinados para uso industrial e não são designados por ENplus, mas podem ser certificados como EN-B.

2.7.2.2 Normas alemãs segundo o *Deutsches Institut für Normung*

O Instituto Alemão de Normas propõe três normas para avaliação da qualidade de péletes e briquetes. A DIN 51731

que apresenta os testes e exigências para combustíveis sólidos de madeira compactada sem tratamento, a DIN EN 15270 que traz as definições, exigências, testes e características para queimadores de péletes em pequenos aquecedores e a DIN 66165 que apresenta os procedimentos para análise de tamanho de partículas (DIAS, *et al.* 2012).

Conforme descrito por García-Maraver *et al.* (2011), o primeiro padrão para péletes e briquetes introduzido na Alemanha foi a norma DIN 51731, em 1996. A utilização desta norma no setor de aquecimento em pequena escala é limitada devido ao seu teor máximo de cinzas ($<1,5\%$) e a ausência de um limite para a durabilidade mecânica.

Em consequência disso, posteriormente foi desenvolvida a certificação DINplus, com base na norma DIN EN 15270, que estabelece padrões para péletes de madeira de elevada qualidade. Esta norma tem contribuído significativamente para o sucesso do mercado de péletes para aquecimento residencial na Alemanha. Hoje, é a mais importante certificação mundial de qualidade para péletes de madeira (GARCÍA-MARAVÉR *et al.* 2011; DIAS *et al.* 2012).

Analizando o estudo de García-Maraver (2011) pode-se constatar que a DIN 51731 apresenta cinco subdivisões, que diferem apenas quanto ao diâmetro e comprimento dos péletes, o que não ocorre na DIN EN 15270. Além disso, a DIN EN 15270 difere da DIN 51731 quanto à abrasão e o uso de aditivos, onde ficam estabelecidos valores limites para esses parâmetros e, apresenta valores mais restritivos para o teor de umidade, teor de cinzas, poder calorífico e teor de nitrogênio (N), cloro (CL) e enxofre (S).

2.7.2.3 Normas austríacas segundo o Austrian Standards Institute

O Instituto Normativo Austríaco estabelece três normas referentes a péletes, sendo que a norma padrão ÖNORM M

7135, publicada em 2000, estabelece exigências e especificações para madeira ou casca comprimida em seu estado natural para a formação de péletes e briquetes, e também estabelece características para péletes não derivados de biomassa nem provenientes de madeira. Além desta norma, são usadas normas que tratam da logística e armazenagem de péletes, M 7136 e M 7137, respectivamente (DIAS *et al.* 2012).

O cumprimento da ÖNORM M 7135, conforme García-Maraver *et al.* (2011), gera um rótulo de certificação para péletes. Segundo Garcia (2010), a norma reforça um padrão de emissão para aquecedores residenciais e, o sistema de certificação assegura elevados padrões de qualidade do combustível, exigindo somente o uso de matéria-prima natural.

2.7.2.4 Normas suecas segundo o Swedish Standards

A normalização sueca para péletes de madeira foi estabelecida em 1999 e classifica os péletes em três grupos de acordo com sua qualidade (SELKIMÄKI e RÖSER, 2008).

Segundo Viak (2000) quando a expansão do mercado no setor doméstico ocorreu no país, tornou-se necessário garantir a segurança operacional e as baixas emissões dos aquecedores residenciais que utilizavam o biocombustível e as normas surgiram para que essas exigências fossem cumpridas.

De acordo com Gustavsson e Hermansson (2011), os grupos diferem principalmente pelo tamanho e teor de cinzas. O grupo um é destinado principalmente para uso doméstico, ou seja, para combustão em caldeiras e fornos e, os outros dois grupos (dois e três), para uso em grandes caldeiras.

2.7.2.5 Norma italiana segundo o Comitato Termotecnico Italiano

A norma italiana CTI-R04/05 do *Comitato Termotecnico Italiano* (2004), estabelece os parâmetros de qualidade de péletes derivados de biomassa. A norma classifica os péletes nas seguintes categorias, dependendo de sua composição:

Categoria A: tronco de árvore decídua ou conífera sem casca; madeira sem tratamento da indústria de processamento; madeira não tratada e sem casca após ter sido usada; ou mistura desses materiais. Categoria B: Materiais não incluídos na categoria A; biomassa herbácea não tratada; ou mistura desses materiais. Categoria C: Materiais não incluídos na categoria B (CTI, 2004; GARCÍA-MARAVÉ *et al.* 2011).

Da mesma forma que as demais normas, as exigências para cada propriedade na norma italiana diferem nas três categorias. Conforme o CTI (2004) a categoria A apresenta valores mais restritivos que a categoria B para alguns parâmetros e, a categoria B valores mais restritivos em relação à categoria C. Tratando-se do uso de agentes ligantes, ou também chamados aditivos, os três grupos permitem a presença dessas substâncias, desde que sejam informados o tipo e a quantidade.

2.7.2.6 Norma norte-americana segundo Pellet Fuels Institute – Estados Unidos

Conforme Garcia (2010), os Estados Unidos seguem normas não oficiais recomendadas pelo *Pellet Fuels Institute*, que determinam padrões específicos para biocombustíveis sólidos desde 1995. São os próprios produtores que garantem a qualidade do produto informando as principais características.

Conforme o *Pellet Fuels Institute* - IPF (2014), com o passar do tempo foi sendo realizada a remodelação das normas

norte-americanas e, em novembro de 2011, ocorreu o lançamento do *PFI Standards Program*, um programa de acreditação de terceiros que fornece especificações para combustível de uso residencial e comercial. Existem três principais documentos que servem como base para esse programa, que são:

- a) *Pellet Fuels Institute Standard Specification for Residential/Commercial Densified Fuel*: descreve os parâmetros de qualidade, requisitos e métodos de testes para combustíveis densificados;
- b) *Pellet Fuels Institute Residential/Commercial Densified Fuel QA/QC Handbook*: fornece os procedimentos de controle de qualidade e garantia de qualidade para a produção de combustíveis densificados para uso residencial e comercial;
- c) *American Lumber Standard Committee, Incorporated, Residential/Commercial Densified Fuel Enforcement Regulations*: informa os papéis e as responsabilidades dos órgãos de auditoria, os laboratórios e os requisitos de supervisão do organismo de acreditação.

De acordo com o que foi emitido pelo *Pellet Fuel Institute* (2011), os combustíveis densificados produzidos e certificados pelo instituto podem ser enquadrados em três classes: *Premium*, *Standard* e *Utility*. Essas classes diferem quanto densidade, durabilidade, teor de finos e cinzas, sendo que a categoria *Premium* apresenta valores mais restritivos que a *Utility* para essas propriedades.

2.7.2.7 Norma segundo International Organization for Standardization

A norma ISO 17225: *Solid biofuels – Fuel specifications and classes*, foi publicada no ano de 2014 e é o documento mais recente referente à caracterização de biocombustíveis sólidos. De acordo com a *International*

Organization for Standardization – ISO (2014), essa norma é composta por sete partes, sendo:

- Parte 1: *General requirements*;
- Parte 2: *Graded wood pellets*;
- Parte 3: *Graded wood briquettes*;
- Parte 4: *Graded wood chips*;
- Parte 5: *Graded firewood*;
- Parte 6: *Graded non-woody pellets*;
- Parte 7: *Graded non- wood pellets*.

Conforme o que consta na norma ISO 17225, os biocombustíveis sólidos podem ser produzidos a partir de matéria-prima proveniente de floresta, plantação ou outra madeira virgem; Subprodutos e resíduos da indústria de processamento de madeira e; Madeira usada não tratada quimicamente (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2014).

A parte 2 (*Graded wood pellets*) da ISO 17225 é a parte que caracteriza os pêsletes de madeira. Para esse produto, são apresentadas classes de qualidade de acordo com o uso. Para uso residencial e comercial o biocombustível pode pertencer à classe A1, A2 ou B. Para uso industrial, os pêsletes podem ser classificados em I1, I2 ou I3.

De acordo com a ISO (2014), nas classes A1, A2, I1 e I2 é classificado o material produzido a partir de madeira virgem e resíduos de madeira não tratada quimicamente. A classe A1 representa combustíveis com reduzido teor de cinzas e nitrogênio, enquanto que na classe A2 os valores são um pouco maiores. Nas classes I1 e I2 o teor de cinzas e nitrogênio é semelhante à classe A2. As classes B e I3 permitem a utilização de madeira e resíduos da indústria quimicamente tratados, desde que não contenham metais pesados ou compostos orgânicos halogenados acima dos valores considerados normais no país de origem do material.

Outro fator importante que consta na norma é que nas seis classes é permitida a presença de aditivos no

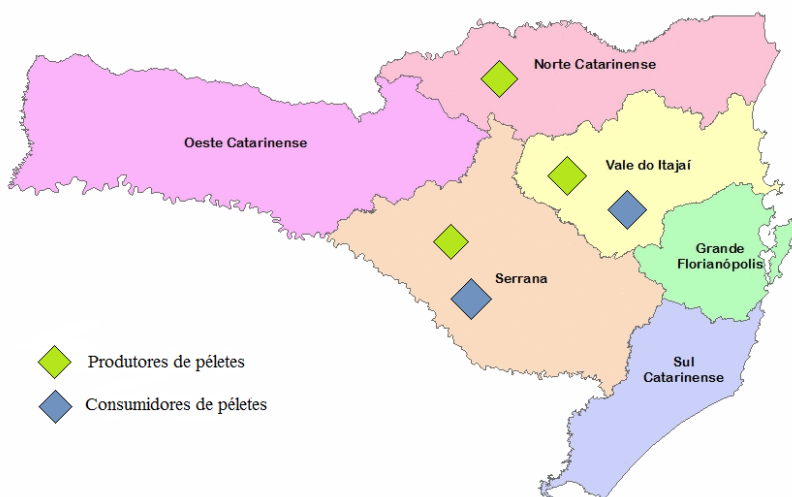
biocombustível, porém, no material destinado ao uso residencial ou no setor de serviços a porcentagem é menor do que o material destinado a uso industrial.

Conforme informações publicadas pelo site *Pellets News* (2015) a ISO 17225-2 irá substituir a norma EN 14961-2 na Europa.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os compactados de biomassa residual florestal ou também chamados péletes foram coletados no estado de Santa Catarina, em duas mesorregiões: Serrana e do Vale do Itajaí (ver Figura 5).

Figura 5 - Localiza  o dos produtores e consumidores de péletes em Santa Catarina.



Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de Nones (2014).

Foram obtidas nove amostras de três diferentes procedências, coletadas tanto em produtores como em consumidores de péletes (ver Tabela 1). Foram consideradas como procedências as três empresas produtoras de Santa Catarina, localizadas nos municípios de Benedito Novo, Timbó e Curitibanos.

Tabela 1 - Descrição das amostras de péletes analisadas em Santa Catarina.

| Origem | Município do local de coleta | Amostra |
|---|-------------------------------------|----------------|
| Local da Coleta: Empresa 4 Produtor do pélete: Empresa 1 | Blumenau | A1 |
| Local da Coleta: Empresa 5 Produtor do pélete: Empresa 2 | Lages | A2 |
| Local da Coleta: Empresa 6 Produtor do pélete: Empresa 3 | Blumenau | A3 |
| Local da Coleta: Empresa 1 Produtor do pélete: Empresa 1 | Timbó | A4 |
| Local da Coleta: Empresa 3 Produtor do pélete: Empresa 3 | Benedito Novo | A5 |
| Local da Coleta: Empresa 7 (pélete 8 mm) Produtor do pélete: Empresa 2 | Lages | A6 |
| Local da Coleta: Empresa 7 (pélete 6 mm) Produtor do pélete: Empresa 2 | Lages | A7 |
| Local da Coleta: Empresa 2 Produtor do pélete: Empresa 2 | Curitibanos | A8 |
| Local da Coleta: Empresa 8 Produtor do pélete: Empresa 2 | Lages | A9 |

Nota: Os péletes das nove amostras analisadas tiveram a mesma composição: péletes de maravalha de *Pinus* produzidos em peletizadora de ração adaptada para biomassa.

Após a coleta, as amostras foram submetidas a análises laboratoriais para determinação das propriedades de: dimensões; densidade da unidade e densidade a granel; teor de umidade; análise imediata; poder calorífico; durabilidade mecânica e teor de finos. As análises foram realizadas na Universidade do Estado de Santa Catarina, na Universidade do Planalto Catarinense e na Empresa Soluções e Inovações em Tecnologias de Madeiras Ltda., localizadas em Lages, Santa Catarina.

As dimensões dos péletes foram determinadas de acordo com a norma austríaca ÖNORM M 7135 (ÖSTRREICHES NORMUNGS INSTITUT, 2000), através da medição do diâmetro e do comprimento de cada pélete com paquímetro digital (ver Figura 6). Nesse caso, as amostras foram separadas em sacos plásticos com três repetições, onde cada repetição foi composta por 40 unidades.

Figura 6 - Determinação das dimensões dos péletes com paquímetro digital.



Fonte: Autora (2013).

A densidade da unidade foi determinada conforme a norma alemã DIN 52182 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 1976) dividindo-se a massa pelo volume, sendo que a massa foi obtida em balança analítica conforme a Figura 7, e o volume calculado a partir das dimensões dos péletes.

Figura 7 - Determinação da massa dos péletes com balança de precisão.



Fonte: Autora (2013).

A determinação da densidade aparente (a granel) foi realizada a partir da adaptação das normas ABNT NBR 6922 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1981) e EN 15103 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2005a), onde se utilizou um Becker cilíndrico de volume conhecido de 2,0 litros, o qual foi preenchido até a borda com o biocombustível, e com o auxílio de uma balança de precisão de 0,1g obteve-se a massa (ver Figura 8). Nesse caso, a densidade também foi obtida através da razão entre a massa e o volume. Ambas as densidades foram obtidas no teor de umidade determinado nos péletes.

Figura 8 - Determinação da massa de péletes contidos em um Becker de 2,0 litros.



Fonte: Autora (2013).

A determinação do teor de umidade seguiu os princípios da norma EN 14774-2 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2009), em que a umidade é obtida a partir da diferença de peso da amostra antes e após a secagem a $105 \pm 2^\circ\text{C}$. O equipamento utilizado foi o analisador de umidade infravermelho, conforme a Figura 9.

Figura 9 - Analisador de umidade infravermelho utilizado para determinação da umidade dos péletes.



Fonte: Autora (2013).

A quantificação do carbono fixo, teor de materiais voláteis e teor de cinzas procedeu-se de acordo com a norma ASTM 1762 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2007), a partir da análise imediata em Termobalança Gravimétrica (ver Figura 10). A análise do poder calorífico seguiu a norma DIN 51900-2 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2000), em que a amostra é testada em calorímetro a 0% de umidade.

Figura 10 - Termobalança gravimétrica utilizada para realização da análise imediata.



Fonte: Autora (2013).

Para a determinação da durabilidade mecânica foram colocadas 500g de péletes em um friabilômetro (ver Figura 11) durante 20 minutos, sendo que o material foi rotacionado a uma velocidade de 25 rpm. Após a execução do ensaio, os péletes passaram por uma peneira com malha de 3,35mm a fim de separar as partículas menores das maiores. A durabilidade mecânica foi determinada conforme a equação 1. A determinação e classificação foram realizadas com base na norma EN 15210-1 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2005b).

$$Du (\%) = 100 - \left(100 * \frac{mr}{mi}\right) \quad \text{Equação 1}$$

Onde: Du é a durabilidade mecânica expressa em porcentagem, mr é a massa que passou pela peneira e mi é a massa inicial.

A partir do procedimento para a determinação da durabilidade, obteve-se também o teor de finos das amostras através da equação 2.

$$F(\%) = \frac{mA}{mE} * 100 \quad \text{Equação 2}$$

Onde: mA é a massa antes do peneiramento e mE é a massa das partículas peneiradas.

Figura 11 - Friabilômetro utilizado na determinação da durabilidade mecânica e teor de finos.



Fonte: Autora (2013).

Para todas as propriedades analisadas foram feitas três repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro, utilizando programa Sisvar (FERREIRA,1998).

Os valores das propriedades obtidos em laboratório para os péletes produzidos em Santa Catarina foram comparados com os parâmetros existentes em todas as normas internacionais existentes para o controle de qualidade de pellets. Estas normas foram selecionadas e obtidas por meio de busca bibliográfica e compra das mesmas, e tem seus parâmetros de comparação descritos nas Tabelas 2, 3, 4 e 5.

Tabela 2 - Especificações técnicas de péletes segundo a norma europeia.

| Especificação | Europa CEN CEN/TS 14961-2 | | |
|---------------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------|
| | A1 | A2 | B |
| Tamanho (mm) | Ø = 6 ou 8 L= 3,15 a 40 | 6 ou 8 3,15 a 40 | 6 ou 8 3,15 a 40 |
| Densidade Aparente (kg/m³) | ≥ 600 | ≥ 600 | ≥ 600 |
| Densidade da Unidade (g/cm³) | - | - | - |
| Teor de Umidade (%) | ≤ 10 | ≤ 10 | ≤ 10 |
| Teor de Cinzas (%) | ≤ 0,7 | ≤ 1,5 | ≤ 3,0 |
| Poder Calorífico (GJ/ton.) | 16,5 a 19,0 | 16,3 a 19,0 | 16,0 a 19,0 |
| Durabilidade (%) | ≥ 97,5 | ≥ 97,5 | ≥ 96,5 |
| Finos (%) < 3 mm | ≤ 1 | ≤ 1 | ≤ 1 |

Fonte: EUROPEAN PELLET COUNCIL (2013).

Nota: Ø = diâmetro e L = comprimento.

Tabela 3 - Especificações técnicas de péletes segundo as normas alemã e austríaca.

| Especificação | Alemanha DIN Plus | Áustria Önorm M 7135 |
|---|---|---|
| | - | Madeira |
| Tamanho (mm) | $\varnothing = 6 \pm 1$ ou 8 ± 1 L=3,15 a 40 | $\varnothing = 4 \leq D < 10$ L= $\leq 5 \times D$ |
| Densidade Aparente (kg/m ³) | ≥ 600 | - |
| Densidade da Unidade (g/cm ³) | - | $\geq 1,120$ |
| Teor de Umidade (%) | ≤ 10 | ≤ 10 |
| Teor de Cinzas (%) | $\leq 0,7$ | $\leq 0,5$ |
| Poder Calorífico (GJ/ton.) | $\geq 16,5$ | $\geq 18,0$ |
| Durabilidade (%) | 97,5 | - |
| Finos (%) < 3 mm | - | < 2,3 |

Fonte: DIN CERTCO (2014), ÖSTRREICHES NORMUNGSGESAMHEIT (2000).

Nota: \varnothing = diâmetro e L = comprimento.

Tabela 4 - Especificações técnicas de péletes conforme a norma sueca.

| Especificação | Suécia SS 18 71 20 | | |
|---|---|--|--|
| | G1 | G2 | G3 |
| Tamanho (mm) | $\varnothing = < 25$ L= $< 4 \times \varnothing$ | $\varnothing = < 25$ $< 5 \times \varnothing$ | $\varnothing = < 25$ $< 5 \times \varnothing$ |
| Densidade Aparente (kg/m ³) | ≥ 600 | ≥ 500 | ≥ 500 |
| Densidade da Unidade (g/cm ³) | - | - | - |
| Teor de Umidade (%) | ≤ 10 | ≤ 10 | ≤ 12 |
| Teor de Cinzas (%) | $\leq 0,7$ | $\leq 1,5$ | $< 1,5$ |
| Poder Calorífico (GJ/ton.) | $\geq 16,0$ | $\geq 16,9$ | $\geq 15,1$ |
| Durabilidade (%) | - | - | - |
| Finos (%) < 3 mm | $\leq 0,8$ | $\leq 1,5$ | $\leq 1,5$ |

Fonte: SELKIMÄKI e RÖSER (2008), GARCÍA-MARAVÉ *et al.* (2011).

Nota: \varnothing = diâmetro e L = comprimento.

Tabela 5 - Especificações técnicas de péletes segundo a norma italiana.

| Especificação | Itália CTI-R 04/05 | | |
|---|--|-------------|---|
| | A | B | C |
| Tamanho (mm) | $\varnothing = 6 \pm 0,5$ ou $8 \pm 0,5$ $L = \varnothing - 5 \times \varnothing$ ou $\varnothing - 4 \times \varnothing$ | | $10 \pm 0,5 \leq D \leq 25 \pm 1,0$ $L = \varnothing - 4 \times \varnothing$ |
| Densidade Aparente (kg/m ³) | 620-720 | 600-720 | ≥ 550 |
| Densidade da Unidade (g/cm ³) | - | - | - |
| Teor de Umidade (%) | ≤ 10 | ≤ 10 | ≤ 15 |
| Teor de Cinzas (%) | $\leq 0,7$ | $< 1,5$ | - |
| Poder Calorífico (GJ/ton.) | $\geq 16,9$ | $\geq 16,2$ | - |
| Durabilidade | 97,7 | 95,0 | 90,0 |
| Finos (%) < 3 mm | $\leq 1,0$ | $\leq 1,0$ | - |

Fonte: COMITATO TERMOTECNICO ITALIANO (2004).

Nota: \varnothing = diâmetro e L = comprimento.

Tabela 6 - Especificações técnicas de péletes segundo a norma norte-americana.

| Especificação | EUA PFI | | |
|---|-------------------------------|-------------|-------------|
| | P | S | U |
| Tamanho (mm) | $\varnothing = 5,84$ a $7,25$ | | |
| Densidade Aparente (kg/m ³) | 640 a 736 | 640 a 736 | 608 a 736 |
| Densidade da Unidade (g/cm ³) | - | - | - |
| Teor de Umidade (%) | ≤ 8 | ≤ 10 | ≤ 10 |
| Teor de Cinzas (%) | $\leq 1,0$ | $\leq 2,0$ | $\leq 6,0$ |
| Poder Calorífico (GJ/ton.) | - | - | - |
| Durabilidade | $\geq 96,5$ | $\geq 95,0$ | $\geq 95,0$ |
| Finos (%) < 3 mm | $\leq 0,50$ | $\leq 1,0$ | $\leq 1,0$ |

Fonte: PELLET FUELS INSTITUTE (2011).

Nota: \varnothing = diâmetro; P = *Premium*; S = *Standard*; U = *Utility*.

Tabela 7 - Especificações técnicas de péletes segundo as normas da Organiza  o Internacional de Padroniza  o.

| Especific  o | ISO 17225-2 | | | | | |
|----------------------------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| | A1 | A2 | B | I1 | I2 | I3 |
|    = 6   1 |    = 6   1 |    = 6   1 |    = 6   1 |    = 6   1 |    = 6   1 |    = 6   1 |
|    = 8   1 |    = 8   1 |    = 8   1 |    = 8   1 |    = 8   1 |    = 8   1 |    = 8   1 |
| Tamanho (mm) | | | |    = 10   1 |    = 10   1 |    = 10   1 |
| | | | | | |    = 12   1 |
| | | | | | | |
| Densidade Aparente (kg/m  ) |    600 |    600 |    600 |    600 |    600 |    600 |
| Densidade da Unidade (g/cm  ) | - | - | - | - | - | - |
| Teor de Umidade (%) |    10 |    10 |    10 |    10 |    10 |    10 |
| Teor de Cinzas (%) |    0,7 |    1,2 |    2 |    1 |    1,5 |    3 |
| Poder Calorífico (GJ/ton.) |    16,5 |    16,5 |    16,5 |    16,5 |    16,5 |    16,5 |
| Durabilidade |    97,5 |    97,5 |    96,5 | 97,5 – 99 | 97 – 99 | 96,5 – 99 |
| Finos (%) < 3 mm |    1,0 |    1,0 |    1,0 |    4 |    5 |    6 |

Fonte: INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (2014).

Nota:    = diâmetro e L = comprimento.

A proposição de critérios para a elaboração de uma normalização para Santa Catarina foi elaborada utilizando dados referentes às normas internacionais consultadas. Além disso, informações fornecidas por Nones (2014) sobre a cadeia produtiva dos péletes no estado e os resultados obtidos nas análises laboratoriais realizadas também serviram como embasamento para indicação das categorias, das principais propriedades que influenciam na qualidade dos péletes e seus respectivos valores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 QUALIDADE DOS PÉLETES E ADEQUAÇÃO DESTA QUALIDADE ÀS NORMAS INTERNACIONAIS

Os valores obtidos para caracterização física (diâmetro e comprimento) dos péletes de biomassa florestal estudados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Caracterização física (diâmetro e comprimento) dos péletes produzidos e comercializados em Santa Catarina.

| Amostra | Local da Coleta | Ø (mm) | L (mm) | L Mín. | L Max. |
|----------------------|-----------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| A1 | C | 6,94 a6 | 10,48 a1 | 9,8 | 11,1 |
| A2 | C | 6,18 a2 | 17,09 a4 | 16,6 | 18,3 |
| A3 | C | 6,42 a4 | 13,19 a3 | 11,9 | 14,6 |
| A4 | P | 6,55 a5 | 12,00 a2 | 9,7 | 13,2 |
| A5 | P | 6,22 a3 | 21,98 a6 | 19,4 | 23,2 |
| A6 | C | 8,35 a7 | 18,24 a5 | 16,4 | 21,2 |
| A7 | C | 6,09 a1 | 21,46 a6 | 20,2 | 69,1 |
| A8 | P | 6,22 a3 | 23,14 a7 | 16,4 | 21,2 |
| A9 | C | 6,21 a3 | 18,20 a5 | 16,6 | 18,4 |
| Média | - | 6,58 | 17,31 | 15,2 | 23,4 |
| Desvio Padrão | - | 0,71 | 4,56 | 3,9 | 17,6 |

Fonte: Elaborado pela autora (2014).

Nota: Ø = diâmetro e L = comprimento.

C = consumidor e P = produtor. Valores seguidos do mesmo número após a letra “a”, na coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 95% de probabilidade pelo Teste de Médias de Scott-Knott.

Os diâmetros encontrados nas diferentes amostras de péletes produzidos com matriz de 6 mm apresentaram valores variando de 6,09 mm a 6,94 mm, sendo que somente as amostras A5, A8 e A9, fabricadas pela Empresa 3 e pela Empresa 2, foram semelhantes estatisticamente. Para a amostra A6, o valor encontrado de 8,35 mm foi devido ao fato dos péletes serem produzidos em uma matriz perfurada com diâmetro de 8 mm. Entre os péletes que são fabricados em matriz de 6 mm, os produzidos pela Empresa 2 (amostra A7) apresentaram o menor diâmetro e diferiram dos demais e a Empresa 1 produziu os péletes de maior diâmetro para essa matriz.

O comprimento apresentou valores variando de 10,48 mm a 23,14 mm, onde as amostras A5 e A7 foram semelhantes (Empresa 3 e Empresa 2) e as amostras A6 e A9 também foram semelhantes entre si (ambas da Empresa 2). O maior comprimento dos péletes foi observado para a Empresa 2 e o menor comprimento foi na Empresa 1, tendo a Empresa 3, o comprimento intermediário entre os produtores.

Garcia (2010) analisando quatro diferentes péletes produzidos a partir de serragem de espécies florestais não identificadas (P1, P2, P3 e P4), obteve resultados similares. O autor destacou que os diâmetros finais não tiveram variações significativas porque os péletes das quatro amostras estudadas foram produzidos com uma matriz perfurada com diâmetro padronizado de 6mm. No entanto, o comprimento mínimo encontrado de 6,6 mm (para os péletes P1) e o máximo 34,4 mm (para os péletes P4) permitiram verificar que há grandes variações nos processos de fabricação dos mesmos, o que também foi constatado nesse estudo.

Comparando os valores encontrados para o diâmetro nas nove amostras estudadas com as principais normas internacionais existentes, verificou-se que as mesmas atenderam os requisitos exigidos pela norma alemã (DIN

51735), pela norma ISO 17225-2, pela norma norte-americana (regulamentadas pelo *Pellet Fuel Institute*), sendo que a única amostra que não atendeu a essa norma foi a A6, pelos grupos A e B da norma italiana (CTI-R 04/5), sendo que somente as amostra A1 e A4 não se enquadraram em nenhum dos três grupos, pela norma austríaca (Onörm M7135) e pela norma sueca (SS187120). Em contrapartida, não atenderam as exigências da norma europeia (CEN/TS 14961).

Quanto ao comprimento, às nove amostras atenderam as especificações das normas: europeia, alemã, austríaca, sueca, italiana. A norma norte-americana não faz inferências para esse parâmetro. Além disso, os parâmetros estão de acordo com o que é proposto pela norma ISO 17225-2, sendo que os valores se enquadram nos seis grupos dessa norma.

Os valores obtidos na caracterização física e mecânica dos péletes de biomassa florestal estudados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Caracterização física e mecânica dos péletes produzidos e comercializados em Santa Catarina.

| Amostra | Local da Coleta | Densid. Aparente (kg/m ³) | Densid. Unidade (g/cm ³) | Durabil. (%) | Finos (%) < 3 mm |
|----------------------|-----------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------|------------------|
| A1 | C | 670,67 a2 | 1,72 a2 | 98,30 a2 | 1,70 a2 |
| A2 | C | 657,40 a3 | 1,64 a3 | 99,46 a1 | 0,54 a1 |
| A3 | C | 672,37 a2 | 1,65 a3 | 99,41 a1 | 0,59 a1 |
| A4 | P | 701,55 a1 | 1,70 a2 | 98,35 a2 | 1,65 a2 |
| A5 | P | 663,65 a2 | 1,64 a3 | 99,38 a1 | 1,62 a1 |
| A6 | C | 649,26 a3 | 2,03 a1 | 99,24 a1 | 0,76 a1 |
| A7 | C | 653,84 a3 | 1,63 a3 | 99,15 a1 | 0,85 a1 |
| A8 | P | 664,92 a2 | 1,70 a2 | 99,24 a1 | 0,76 a1 |
| A9 | C | 637,45 a3 | 1,63 a3 | 99,06 a1 | 0,94 a1 |
| Média | - | 663,46 | 1,70 | 99,07 | 1,05 |
| Desvio Padrão | - | 18,00 | 0,13 | 0,44 | 0,47 |

Fonte: Elaborado pela autora (2014).

Nota: C = consumidor e P = produtor. Valores seguidos do mesmo número após a letra “a”, na coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 95% de probabilidade pelo Teste de Médias de Scott-Knott.

Para a densidade aparente (a granel) os valores variaram de 649,26 kg/m³ a 701,55 kg/m³. Com relação à análise estatística, a densidade aparente formou três grupos, sendo que os péletes produzidos pela Empresa 1 tiveram a maior densidade, diferindo dos demais produtores. As Empresas 2 e 3 foram semelhantes estatisticamente entre si.

Os valores obtidos neste trabalho estão de acordo com os valores obtidos por Garcia (2010) e Pastre (2002). Garcia (2010), estudando quatro diferentes procedências de péletes de serragem de espécies florestais não identificadas, obteve valores entre 638,0 kg/m³ e 647,4 kg/m³. Pastre (2002), analisando 22 diferentes amostras de péletes de madeira,

encontrou valores de densidade aparente na faixa de 520,0 a 640,0 kg/m³.

No geral, os valores desejáveis para densidade aparente (a granel) são superiores a 600 kg/m³. As exceções ocorrem nos grupos 1 e 2 da Suécia que tratam de péletes utilizados em sistemas industriais e admitem valores superiores a 500 kg/m³, e no grupo C da Itália que admite valores superiores a 550 kg/m³. Os seis grupos da norma ISO 17225-2, o grupo A da norma italiana e os três grupos da norma norte-americana são os mais exigentes, apresentando valores superiores a 600 kg/m³. A norma austríaca é a única que não faz exigências para essa propriedade. Os péletes analisados neste estudo atenderam os requisitos das sete normas pesquisadas quanto à densidade a granel.

Em relação à densidade da unidade, as amostras apresentaram valores que variaram de 1,63 a 2,03 kg/m³. A Empresa 1 produz os péletes com maior densidade da unidade (péletes de 6 mm de diâmetro), sendo estatisticamente igual a Empresa 2. Estas duas empresas são estatisticamente diferentes da Empresa 3 que produz os péletes com menor densidade da unidade.

Verificando o que consta nas normas internacionais, somente a norma Onörm M 7135 da Áustria faz exigências em relação a esse critério. Sendo assim, as nove amostras atenderam os requisitos dessa norma (densidade da unidade maior ou igual a 1000 kg/m³).

Para a durabilidade mecânica, as nove amostras apresentaram valores elevados, acima de 98%, confirmando o estudo de Garcia (2010), que obteve valores entre 96,3 a 98,1%. Ainda segundo o autor, de acordo com o método descrito pela norma CEN/TS 15210-1, os péletes de madeira produzidos no Brasil tem durabilidade mecânica com medida superior a 80%. A Empresa 1 apresentou a menor durabilidade mecânica e maior produção de finos, sendo diferente

estatisticamente dos outros dois produtores, que por sua vez não tiveram diferença estatística entre si.

A norma DINplus e os grupos A1 e A2 da norma CEN/TS 14961 admitem péletes com durabilidade mecânica superior ou igual a 97,5%, a norte-americana (PFI) admite durabilidade superior a 96,5% para o grupo Premium (P), superior a 95% para o Standard (S) e 90% para o Utility (U). Os grupos A1, A2, I1 e I2 da ISO 17225-2 admitem valor igual ou superior a 97,5% e os grupos B e I3 valor superior a 96,5%. As normas austríaca e sueca não apresentam valores para a durabilidade mecânica. Portanto, os péletes estudados correspondem às exigências das normas internacionais onde esta propriedade é normalizada.

Quanto à proporção de materiais finos, os péletes apresentaram teores que variaram de 0,54 a 1,7%, sendo que a Empresa 1 teve a maior produção de finos e foi estatisticamente diferente das demais. As nove amostras atenderam a norma austríaca. As amostras A2, A3, A6 e A8 são as únicas que se enquadram no grupo G1 da norma sueca. As amostras A2, A3, A6, A7, A8 e A9 atendem aos grupos G2 e G3 da norma sueca, os três grupos da norma europeia, os grupos A e B da italiana, os grupos Standard e Utility da norma norte-americana e os seis grupos da norma ISO 17225-2. As amostras A1, A4 e A5 atendem aos grupos I1, I2 e I3 da norma ISO 17225-2. A DINplus não estabelece valor para esse parâmetro.

Na Tabela 10 são apresentados os valores obtidos na caracterização energética dos péletes de biomassa florestal estudados.

Tabela 10 - Propriedades energéticas dos péletes produzidos e comercializados em Santa Catarina.

| Amostra | Local de coleta | Teor de Umidade (%) | Teor de Cinzas (%) | Teor de Voláteis (%) | Carbono Fixo (%) | Poder Calorífico Superior (GJ/ton.) |
|----------------------|-----------------|---------------------|--------------------|----------------------|------------------|-------------------------------------|
| A1 | C | 8,67 a3 | 0,16 a1 | 81,20 a1 | 18,64 a1 | 20,19 a2 |
| A2 | C | 8,03 a2 | 0,18 a1 | 82,42 a1 | 17,40 a1 | 20,51 a1 |
| A3 | C | 7,70 a2 | 0,52 a1 | 80,13 a1 | 19,36 a1 | 20,09 a2 |
| A4 | P | 7,46 a2 | 0,25 a1 | 82,38 a1 | 17,37 a1 | 19,85 a3 |
| A5 | P | 5,91 a1 | 0,52 a1 | 81,12 a1 | 18,36 a1 | 20,11 a2 |
| A6 | C | 8,67 a3 | 0,41 a1 | 81,25 a1 | 18,34 a1 | 20,15 a2 |
| A7 | C | 7,38 a2 | 0,35 a1 | 80,44 a1 | 19,21 a1 | 20,30 a1 |
| A8 | P | 8,91 a3 | 0,30 a1 | 81,21 a1 | 18,49 a1 | 20,31 a1 |
| A9 | C | 8,27 a3 | 0,77 a1 | 81,44 a1 | 17,79 a1 | 20,41 a1 |
| Média | - | 7,89 | 0,38 | 81,29 | 18,33 | 20,21 |
| Desvio padrão | - | 0,92 | 0,20 | 0,76 | 0,71 | 0,19 |

Fonte: Elaborado pela autora (2014).

Nota: C = consumidor e P = produtor. Valores seguidos do mesmo número após a letra “a”, na coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 95% de probabilidade pelo Teste de Médias de Scott-Knott.

O teor de umidade é um parâmetro importante porque afeta diretamente no balanço energético da densificação, pois quanto menor o teor de umidade, maior será a produção de calor por unidade de massa (VALE *et al.* 2000). Além disso, Carvalho (2011) concluiu que os péletes tem uma combustão mais eficiente devido ao reduzido teor de umidade (5 a 10 %), quando comparado com o da madeira convencional (30 a 60 %).

As amostras analisadas nesse estudo apresentaram teor de umidade que variou de 6 a 9%, sendo similar aos resultados de Garcia (2010), que obteve teores entre 6 a 15% em péletes produzidos em Santa Catarina, Paraná e São Paulo.

Os péletes produzidos pela Empresa 3 tiveram o menor teor de umidade na amostra coletada na fábrica deste produtor. Esta amostra foi estatisticamente diferente dos outros dois produtores e dos péletes coletados nos usuários. Para as demais amostras, foram formados dois grupos que diferiram entre si, mas não houve uma separação clara por origem do produto (produtores).

Observando as Tabelas 2, 3 e 4, a maior parte das normas internacionais estabelecem valores para o teor de umidade de até 10%, com exceção do grupo G3 da norma sueca (12%), do grupo C da norma italiana (15%) e do grupo *Premium* da norma norte-americana (8%). Assim, as nove amostras se enquadram nos requisitos das sete normas apresentadas. Porém, as amostras A1, A2, A6, A8 e A9 não atenderam as exigências do grupo *Premium* da norma dos Estados Unidos.

Para o teor de cinzas, não foi encontrada diferença estatística entre as amostras. Os resultados variaram de 0,16 a 0,77% e os maiores valores foram observados para os produtores: Empresa 2 e Empresa 3. Garcia (2010) encontrou índices de 0,33 a 2,69% e citou que esse maior índice percentual pode ser explicado pela carga de nutrientes e minerais adicionados a planta na sua formação. De acordo com Lehtikangas (2001), valores superiores podem vir de fontes externas como impurezas adquiridas no transporte ou no processamento da matéria-prima.

Comparando os resultados obtidos nas análises com os valores que constam nas normas internacionais, a amostra A9 com índice percentual de 0,77 não atendeu as exigências do grupo A1 da norma europeia, do grupo G1 da norma sueca, do grupo A da norma italiana, do grupo A1 da norma ISO-17225-2 e, das normas austríaca e alemã. As demais amostras atenderam as normas apresentadas, com exceção da A3 e A5

que apresentaram teor de cinzas de 0,52% e não atenderam os requisitos da norma austríaca.

Os péletes apresentaram ainda, teor de materiais voláteis entre 80,44 e 82,42% e carbono fixo entre 17,37 e 19,36%, estando de acordo com a literatura. Obernberger e Thek (2002) e Werther *et al.* (2000) obtiveram, em termos gerais, teores de materiais voláteis entre 75% a 85% e de carbono fixo entre 14% a 25%. Segundo esses autores, combustíveis com índice elevado de carbono fixo apresentam queima mais lenta, implicando em maior tempo de residência dentro dos queimadores, em comparação com outros combustíveis que tenham menor teor de carbono fixo. Os dados são semelhantes também com o que foi apresentado por Garcia (2010), em que o teor de materiais voláteis variou de 83,4 a 84,9% e o carbono fixo ficou entre 14,56 e 15,63%.

Com relação à análise química imediata (teores de voláteis, carbono fixo e cinzas), não houve diferença estatística entre os produtores.

Avaliando o poder calorífico superior (PCS) observou-se que o mesmo variou de 19,8 GJ/ton. (4741 Kcal/kg) a 20,5 GJ/ton (4898 Kcal/kg). A Empresa 2 produz os péletes com maior poder calorífico, sendo diferente estatisticamente da Empresa 1 e da Empresa 3, as quais também diferiram entre sim.

Os resultados apresentaram-se superiores aos encontrados por Garcia (2010), que obteve PCS de 18,71 GJ/ton. (4468,60 Kcal/kg) a 19,48 GJ/ton. (4652,50 Kcal/kg). Além disso, as nove amostras apresentaram valores superiores aos exigidos pelas normas internacionais. Nenhuma das amostras se enquadra na norma europeia, pois a mesma estabelece um intervalo para o poder calorífico que varia de 16,5 GJ/ton. a 19,0 GJ/ton., porém os valores obtidos no estudo são superiores a esse intervalo.

Os Quadros 1 e 2 demonstram, de forma geral, quais os parâmetros atendem as normas: europeia, norte-americana,

sueca e italiana. Para essa comparação mais ampla foram utilizados os valores médios das amostras das propriedades analisadas.

Quadro 1 - Comparação dos resultados médios obtidos nas análises com as normas internacionais europeia e norte-americana.

| Propriedades | Valores médios | Europa 14961-2 | | | EUA PFI | | |
|--------------------------------|----------------|----------------|----|---|---------|---|---|
| | | A1 | A2 | B | P | S | U |
| Ø (mm) | 6,58 | N | N | N | S | S | S |
| L (mm) | 17,31 | S | S | S | - | - | - |
| Densidade Aparente (kg/m³) | 663,46 | S | S | S | S | S | S |
| Densidade da Unidade (g/cm³) | 1,70 | - | - | - | - | - | - |
| Durabilidade (%) | 99,07 | S | S | S | S | S | S |
| Finos < 3 mm (%) | 1,05 | N | N | N | N | N | N |
| Teor de Umidade (%) | 7,89 | S | S | S | S | S | S |
| Teor de Cinzas (%) | 0,38 | S | S | S | S | S | S |
| Teor de Materiais Voláteis (%) | 81,29 | - | - | - | - | - | - |
| Carbono Fixo (%) | 18,33 | - | - | - | - | - | - |
| PCS (GJ/ton.) | 20,21 | S | S | S | S | S | S |

Fonte: Elaborado pela autora (2014).

Nota: N = parâmetro não atende a norma; S = parâmetro atende a norma;

- = valor não exigido pela norma.

Quadro 2 - Comparação dos resultados médios obtidos nas análises com as normas internacionais sueca e italiana.

| Propriedades | Valores médios | Suécia SS187120 | | | Itália CTI-R 04/05 | | |
|--------------------------------|----------------|--------------------|----|----|-----------------------|---|---|
| | | G1 | G2 | G3 | A | B | C |
| Ø (mm) | 6,58 | S | S | S | N | N | N |
| L (mm) | 17,31 | S | S | S | S | S | S |
| Densidade Aparente (kg/m³) | 663,46 | S | S | S | S | S | S |
| Densidade da Unidade (g/cm³) | 1,70 | - | - | - | - | - | - |
| Durabilidade (%) | 99,07 | - | - | - | S | S | S |
| Finos < 3 mm (%) | 1,05 | N | S | S | N | N | - |
| Teor de Umidade (%) | 7,89 | S | S | S | S | S | S |
| Teor de Cinzas (%) | 0,38 | S | S | S | S | S | - |
| Teor de Materiais Voláteis (%) | 81,29 | - | - | - | - | - | - |
| Carbono Fixo (%) | 18,33 | - | - | - | - | - | - |
| PCS (GJ/ton.) | 20,21 | S | S | S | S | S | - |

Fonte: Elaborado pela autora (2014).

Nota: N = parâmetro não atende a norma; S = parâmetro atende a norma;
- = valor não exigido pela norma.

Da mesma forma, no Quadro 3 tem-se uma visão geral de quais parâmetros atendem as exigências da norma austríaca e da norma alemã.

Quadro 3 - Comparação dos resultados médios obtidos nas análises com as normas austríaca e alemã.

| Propriedades | Valores médios | Áustria Önorm M 7135 | Alemanha DIN Plus |
|---------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| Ø (mm) | 6,58 | S | S |
| L (mm) | 17,31 | S | S |
| Densidade Apar. (kg/m³) | 663,46 | - | S |
| Densidade Unid. (g/cm³) | 1,70 | S | - |
| Durabilidade (%) | 99,07 | - | S |
| Finos < 3 mm (%) | 1,05 | S | - |
| Teor de Umidade (%) | 7,89 | S | S |
| Teor de Cinzas (%) | 0,38 | S | S |
| Teor de Materiais Voláteis (%) | 81,29 | - | - |
| Carbono Fixo (%) | 18,33 | - | - |
| PCS (GJ/ton) | 20,21 | S | S |

Fonte: Elaborado pela autora (2014).

Nota: N = parâmetro não atende a norma; S = parâmetro atende a norma;

- = valor não exigido pela norma.

Os parâmetros que atendem as exigências da norma ISO 17225-2, tanto para uso doméstico e setor de serviços quanto para o uso industrial, podem ser observados no Quadro 4.

Quadro 4 - Comparação dos resultados médios obtidos nas análises com os valores da norma elaborada pela *International Organization for Standardization*.

| Propriedades | Valores médios | ISO 17225-2 | | | | | |
|---|----------------|-------------|----|---|----|----|----|
| | | A1 | A2 | B | I1 | I2 | I3 |
| Ø (mm) | 6,58 | S | S | S | S | S | S |
| L (mm) | 17,31 | S | S | S | S | S | S |
| Densidade Aparente (kg/m ³) | 663,46 | S | S | S | S | S | S |
| Densidade da Unidade (g/cm ³) | 1,70 | - | - | - | - | - | - |
| Durabilidade (%) | 99,07 | S | S | S | S | S | S |
| Finos < 3 mm (%) | 1,05 | N | N | N | S | S | S |
| Teor de Umidade (%) | 7,89 | S | S | S | S | S | S |
| Teor de Cinzas (%) | 0,38 | S | S | S | S | S | S |
| Teor de Materiais Voláteis (%) | 81,29 | - | - | - | - | - | - |
| Carbono Fixo (%) | 18,33 | - | - | - | - | - | - |
| PCS (GJ/ton.) | 20,21 | S | S | S | S | S | S |

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Nota: N = parâmetro não atende a norma; S = parâmetro atende a norma; - = valor não exigido pela norma.

As únicas propriedades que não atendem as exigências internacionais são: o diâmetro, para a norma italiana e para a norma europeia, e porcentagem de finos para as normas da Europa, Itália, Estados Unidos, um grupo da norma da Suécia e um grupo da norma ISO.

O poder calorífico superior não atende o intervalo estabelecido pela norma europeia, porém os valores médios obtidos no estudo foram superiores aos exigidos pela norma, o que é considerado positivo. O mesmo ocorre com a durabilidade mecânica, em que os resultados médios encontrados foram superiores ao intervalo determinado pela norma ISO.

Em relação ao diâmetro, o valor médio não atendeu o que é estabelecido pela norma europeia, pois a mesma não admite um intervalo de variação para mais ou para menos para essa característica, o que é constatado nas demais normas. É importante destacar também, que o valor do diâmetro não atende a norma italiana em função de uma única amostra que foi produzida em matriz perfurada de 8 mm. Dessa forma, o fato do diâmetro não estar de acordo com essas duas normas não pode ser considerado um problema.

O teor de finos não atendeu a parte das normas, em virtude disso e da influencia negativa da formação de pó no local de uso dos péletes, essa característica requer maior atenção. Porém, é preciso considerar que, analisando individualmente, apenas três das nove amostras estudadas apresentaram valores maiores que 1% para o teor de finos.

Tendo em vista que os principais usos dos péletes produzidos no estado de Santa Catarina são no setor de serviços e no setor industrial, de forma geral, os mesmos atendem aos critérios exigidos pelas normas internacionais e, as variações constatadas para o diâmetro e o teor de finos não são suficientes para inviabilizar a comercialização e o uso do produto.

4.2 PROPOSTAS PARA A NORMALIZAÇÃO DOS PADRÕES DE QUALIDADE DOS PÉLETES PRODUZIDOS EM SANTA CATARINA

A elaboração de um documento normativo para péletes produzidos em Santa Catarina precisa fornecer princípios de classificação para biocombustíveis sólidos, de forma que isso sirva como uma ferramenta que colabore no entendimento entre comprador e vendedor, que facilite a negociação do produto e estimule o crescimento do mercado interno.

Com base nas informações e dados apresentados pelas normas estudadas, em função das análises realizadas e conhecendo a cadeia produtiva desse recurso energético em Santa Catarina, é possível indicar quais os principais parâmetros a serem contemplados por uma norma em nível de estado para esse produto, e quais as subdivisões que a mesma precisa apresentar.

Em relação ao uso, a principal aplicação dos péletes ocorre a partir da produção de calor. Como solução térmica, podem ter aplicação na indústria, no comércio e no setor residencial, através da implementação de caldeiras, recuperadores de calor e aquecedores. A substituição de sistemas de aquecimento que utilizam combustíveis fósseis ou outras formas de energia por sistemas a péletes apresentam, não só resultados ambientais favoráveis em longo prazo, mas também vantagens econômicas.

Em Santa Catarina, os principais usuários são pequenos empreendimentos do setor comercial ou de serviços e pequenas indústrias. Assim, uma norma específica para a certificação de péletes produzidos no estado precisa apresentar, pelo menos, duas categorias distintas.

A primeira categoria irá abranger péletes para uso no aquecimento doméstico e para uso no setor de serviços. Quanto ao setor doméstico, apesar de não terem sido identificados consumidores, sabe-se que a região sul do Brasil,

principalmente os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, apresenta períodos de frio intenso e, assim como em países da Europa, existe a possibilidade dos mesmos serem utilizados nesse segmento.

O setor de serviços é representado por academias, que usam os péletes para o aquecimento da água de piscinas e, hotéis, motéis e pousadas, que usam o produto para o aquecimento do ambiente. Além disso, outros estabelecimentos, como hospitais e lavanderias, tem demonstrando interesse em aderir a sistemas de aquecimento a péletes, em função das vantagens em relação a outros combustíveis.

A segunda categoria será direcionada ao uso industrial. Conforme os dados pesquisados anteriormente, em Santa Catarina apenas duas empresas de galvanização utilizam pélete como combustível. Porém, a tendência é que ocorra a expansão do mercado nesse setor em função, principalmente, da economia que os péletes apresentam em relação a outras formas de energia. Conforme Nones (2014) a obtenção de energia utilizando péletes é muito recente, por esse motivo as empresas já utilizavam outras formas de energia, como gás liquefeito de petróleo (GLP), energia elétrica, óleo diesel e lenha. Após a mudança para péletes, os entrevistados afirmaram que houve economia, chegando a ser 20% mais econômico que o GLP, de acordo com uma proprietária de academia.

Além disso, o uso de péletes proporciona maior segurança reduzindo os riscos de explosão, as áreas ficam livres de vazamentos, e o abastecimento automático das caldeiras proporciona otimização de mão-de-obra e espaço.

Para a produção dos péletes, a matéria-prima disponível e utilizada pelas empresas em Santa Catarina é a maravalha de *Pinus* spp. e os principais fornecedores são as serrarias. Sendo assim, não será necessário que as categorias apresentem

subdivisões, sendo permitido o uso de material advindo da colheita e resíduos da indústria de processamento da madeira sem tratamento químico, para a fabricação de péletes destinados a suprir os consumidores dos dois setores mencionados.

Se um documento normativo for elaborado em nível brasileiro e não só do estado de Santa Catarina, é necessário que o mesmo abranja outros materiais como, por exemplo, resíduos agrícolas (casca de arroz, casca de coco, bagaço de cana-de-açúcar) e, dessa forma, outras categorias baseadas na matéria-prima utilizada serão estabelecidas.

Quanto aos parâmetros analisados, os mesmos sofrem influência de fatores relacionados ao processo produtivo e são importantes indicadores da qualidade dos péletes. O teor de materiais voláteis, o teor de carbono fixo e o teor de cinzas são propriedades energéticas influenciadas pelo tipo de biomassa utilizado. Além disso, o teor de umidade do pélete, a densidade da unidade e a densidade a granel são parâmetros influenciados pelas condições da matéria-prima, ou seja, pelo teor de umidade da biomassa e pelo tamanho da partícula a ser compactada.

A densidade da partícula, a densidade a granel, o poder calorífico, a durabilidade mecânica e a formação de finos, também podem sofrer alteração em função da pressão e temperatura aplicadas no momento da compactação. Dessa forma, as propriedades físicas, mecânicas e energéticas mencionadas, precisam constar na norma referente à qualidade de péletes de biomassa florestal.

Na Tabela 8 são apresentados os valores dos parâmetros destacados anteriormente para cada categoria. Assim como as categorias e as propriedades, esses valores também são fundamentados em normas já existentes, e em análises realizadas com os péletes coletados nas diferentes mesorregiões de Santa Catarina.

Tabela 11 - Categorias, propriedades e valores de referência que precisam constar na normalização de péletes em Santa Catarina.

| Especificação | Péletes de biomassa florestal - Estado de Santa Catarina | |
|---|---|---|
| | Categoria A | Categoria B |
| Tamanho (mm) | $\varnothing = 6 \pm 1$ $L = < 4 \times \varnothing$ | $\varnothing = 6 \pm 1$ $L = < 4 \times \varnothing$ |
| Densidade Aparente (kg/m ³) | $\geq 600,0$ | $\geq 600,0$ |
| Densidade da Unidade (g/cm ³) | $\geq 1,5$ | $\geq 1,5$ |
| Teor de Umidade (%) | $\leq 10,0$ | $\leq 12,0$ |
| Teor de Cinzas (%) | $\leq 0,7$ | $\leq 1,2$ |
| Poder Calorífico (GJ/ton.) | $\geq 18,0$ | $\geq 16,0$ |
| Durabilidade Mecânica (%) | $\geq 97,5$ | $\geq 96,5$ |
| Teor de Finos (% < 3 mm) | $\leq 1,0$ | $\leq 1,5$ |
| Teor de Carbono Fixo (%) | $\geq 16,5$ | $\geq 15,0$ |
| Teor de Materiais Voláteis (%) | $\leq 82,5$ | $\leq 83,5$ |

Fonte: Elaborado pela autora (2014).

Nota: \varnothing = diâmetro e L = comprimento.

A categoria A refere-se a usuários do setor residencial e setor de serviços. Nessa categoria, os valores para teor de umidade, teor de cinzas, poder calorífico, durabilidade mecânica, teor de finos e teor de materiais voláteis e teor de carbono fixo serão mais restritivos do que na categoria B, em que os péletes são destinados a uso no setor industrial.

Para o tamanho (diâmetro e comprimento) os valores serão iguais para a categoria A e categoria B, em função de que as empresas de Santa Catarina utilizam a mesma matriz para a fabricação dos péletes, facilitando a padronização dessa propriedade. Os requisitos também poderão ser os mesmos para a densidade aparente e densidade da unidade.

As duas categorias não apresentam subdivisões, pois ambas admitem o uso do mesmo material para a fabricação dos péletes.

Sobre os agentes ligantes ou também chamados de aditivos, não foi constatada a sua utilização na fabricação de péletes em nenhuma das empresas de Santa Catarina. Porém, o uso dessas substâncias poderá ser permitido, visto que o objetivo da aplicação é a melhoria da qualidade do produto. É necessário informar o tipo do material, nome comercial e a quantidade de aditivo.

5 CONCLUSÃO

Quanto à qualidade e adequação dos péletes produzidos em Santa Catarina às normas internacionais:

- O diâmetro dos péletes não atendeu somente as especificações estabelecidas pelas normas europeia e italiana.
- Quanto ao comprimento, as nove amostras atenderam as seis normas estudadas.
- Para as propriedades de densidade aparente e da unidade, teor de umidade, poder calorífico superior e durabilidade mecânica, as nove amostras atenderam as seis normas internacionais analisadas.
- Para porcentagem de finos as nove amostras atenderam a norma austríaca e o grupo destinado ao uso industrial da norma da Organização Internacional para Padronização.
- Quanto ao teor de umidade, as nove amostras atenderam as seis normas, exceto ao grupo *Premium* da norma norte-americana.
- Para o teor de cinzas, das nove amostras analisadas, seis atenderam as exigências das seis normas.
- As normas internacionais não estabelecem valores para carbono fixo e teor de materiais voláteis do material.
- Não foi constatada influencia do uso de peletizadoras adaptadas na qualidade final dos péletes.
- De forma geral, os péletes produzidos em Santa Catarina satisfazem as exigências das normas internacionais de qualidade do produto.

Quanto à proposição da norma estadual:

- As normas internacionais, os dados referentes à cadeia produtiva dos péletes em Santa Catarina, e os resultados

das análises precisam subsidiar a proposição da normalização estadual.

- As propriedades que precisam constar na norma são: dimensões, densidade da unidade e a granel, teor de umidade, teor de cinzas, poder calorífico, durabilidade mecânica, teor de finos, teor de carbono fixo e teor de materiais voláteis.
- A norma precisa indicar a matéria-prima a ser utilizada na fabricação dos pelétes.
- É necessário apresentar categorias em função da utilização final do produto.
- É possível, a partir do estudo realizado, a proposição de critérios para a elaboração de uma norma para péletes de biomassa florestal em Santa Catarina.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1762**: Determination of Nitrogen Oxides, Carbon Monoxide and Oxygen Concentrations in Emissions from Natural Gas-Fired Reciprocating Engines, Combustion Turbines, Boilers and Process Heaters using Portable Analyzers. West Conshohocken, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6922**. Carvão vegetal - Ensaio físico - Determinação da massa específica - Densidade a granel. Rio de Janeiro, 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Normalização**. 2014. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/>> Acesso em 02/05/2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário Estatístico ABRAF 2013. Ano Base 2012**. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>> Acesso em 25/09/2014.

AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE. **ÖNORM EN 14961-2**. Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 2: Wood pellets for non-industrial use. Draft. Wien, 2010.

BRAND, M.A. **Energia De Biomassa Florestal**. Rio de Janeiro: Interciência. 2010. 114 p.

BRAND, M. A. **Qualidade da biomassa florestal para uso na geração de energia em função da estocagem**. 169f. (Dissertação – Mestrado em Ciências florestais). Centro de Ciências Florestais e Agrárias. UFPR, Curitiba, 2007.

CARASCHI, J. C.; GARCIA, D. P. **Pellets de Madeira: mercado em crescimento**. 2013. Disponível em: <
http://www.paginasustentavel.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=491:pellets-de-madeira-mercado-em-crescimento&catid=8:artigos&Itemid=17> Acesso em 22/04/2015.

CAPOTE, F. G. **Caracterização e classificação de co-produtos compactados da biomassa para fins energéticos**. 2012. 78f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia). Universidade Federal do Paraná. 2012.

CARVALHO, N. P. R. **Implementação do plano de controlo, inspeção e ensaio na produção de pellets de madeira**. 2011. 43f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Instituto Politécnico de Viseu, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Portugal, 2011.

CARVALHO, A. M. M. L.; PEREIRA, B. L. C.; SOUZA, M. M. Produção de *Pellets* de madeira. In. SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. **Bioenergia e Biorrefinaria – cana-de-açúcar e espécies florestais**. 1. ed. Viçosa: UFV, 2013, p. 379-400.

COELHO, S. T.; GOLDEMBERG, J. Geração de energia a partir de biomassa (exceto resíduos do lixo e óleos vegetais). In: TOLMASQUIM, M. T. (Org). **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, p. 1-92, 2003.

COMITATO TERMOTECNICO ITALIANO.
Biocombustibili solidi: Caratterizzazione del pellet a fini energetici. Maggio, 2004. 18p.

COUTO, L. C.; COUTO, L.; WATZLAWICK, L. F.; CÂMARA, D. Vias de valorização energética da biomassa. **Biomassa e Energia**, Viçosa v.1, n.1, p. 71–92, 2004.
Disponível em:
<http://www.renabio.org.br/arquivos/p_vias_biomassa_5919.pdf> . Acesso em 23/09/2013.

DERMIBAS, A. Mechanisms of liquefaction and pyrolysis reactions of biomass. **Energy Conversion and Management**, Selcuk University, Konya, Turkey, V. 41, n.6, p. 633-646, April 2000.

DIAS, J. M. S. *et al.* **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2012. 132 p.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN CERTCO:** Holzpellets zur Verwendung in Kleinf Feuerungsstätten. Berlin, 2014.18p.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 51900:** Determining the gross calorific value of solid and liquid fuels using the bomb calorimeter, and calculation of net calorific value. Berlin, 2000.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 52182:** Testing of wood; determination of density. Berlin, 1976.

DOAT, J. Le puouvoir calorifique des bois tropicaux. **Revue Bois et Forêts des Tropiques**. França, n.172, p.33-48, 1977.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION - **Technical Specification CEN/TS 14774-2:2009:** Solid biofuels - Determination of moisture content - Oven dry method - Part 2: Total moisture - Simplified method, 2009.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION - **Technical Specification CEN/TS 15103:** Solid biofuels – Methods for the determination of bulk density. London, 2005a.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – **Technical Specification CEN/TS 15210-1:** Methodos for determination mechanical durability of pellets. Solid biofuels – fuel specification and classes. London, 2005b.

EUROPEAN PELLET COUNCIL. **A nova norma Europeia para pellets de madeira (EN 14961-2) e a sua implementação através da certificação ENplus.** 2014.

Disponível em:

<http://www.cebio.net/web/images/stories/PellCert_flyer.pdf>

Acesso em: nov. de 2014.

EUROPEAN PELLET COUNCIL. **Handbook for the Certification of Wood Pellets for Heating Purposes.** Version 2.0, 2013. 41p.

FERREIRA, D. F. **Sisvar** - Sistema de análise de variância para dados balanceados. Lavras: UFLA, 1998. 19p.

GARCIA, D. P. **Caracterização química, física e térmica de pellets de madeira produzidos no Brasil.** 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Guaratinguetá / Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.

GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G. Caracterização energética de pellets de madeira. **Revista da Madeira**, v. 135, p. 14-18, 2013.

GARCÍA-MARAVÉ, A.; POPOV, V.; ZAMORANTO, M. A review of European standards for pellet quality. **Renewable Energy**, Oxford, v. 36, n.12, p. 3537-3540, 2011.

GENTIL, L.V.B., **Tecnologia e Economia do Brique de Madeira**. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal, Publicação EFL TD - 009/2008. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília. Brasília. DF, 195 p., 2008.

GUSTAVSSON, L.; HERMANSSON, S. **Kvalitetssäkring av bränslepellets - system och erfarenheter**. Technical Research Institute of Sweden, Borås, 32p. 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 17225-2**. Solid Biofuels – Fuel Specifications and classes – Part 2: Graded wood pellets. Genebra, Suíça. 2014. 9p.

JARA, E.R.P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989. (Comunicação Técnica, 1797).

LARSSON, S. H.; THYREL, M.; GELADI, P.; LESTANDER, T. A. High quality biofuel pellet production from pre-compacted low density raw materials. **Bioresource Technology**. Umea, Suécia, v. 99, n.5, p. 7176-7182, 2008.

LEHTIKANGAS, P. Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark. **Biomass and Bioenergy**, Uppsala, v.19, n.20, p.351-360, 2001.

LOUÇÃO, I. J. G. Valorização da biomassa florestal, proveniente da doença de nemátodo do pinheiro, para produção de peletes. 177 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2008.

MENDES, C. Normas e qualidade dos biocombustíveis sólidos. Workshop - Biocombustíveis Sólidos – Produção, Qualidade e Utilização no Mercado de Calor. Laboratório Especializado em Biocombustíveis Sólidos do Centro de Biomassa para Energia. Coimbra, Portugal, 2011.

NONES, D. L. Cadeia produtiva de pellets e briquetes de biomassa residual para geração de energia em Santa Catarina. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2014.

NUNES, V. M. B. Química dos Biocombustíveis. Workshop - Poder calorífico dos combustíveis. Unidade departamental de Engenharias. Instituto Politécnico de Tomar. Abrantes, Portugal, 2012.

OBERNBERGER, I.; THEK, G. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their composition behaviour. In: The first world conference on pellets. **Proceedings...**Estocolmo, p.115-121, 2002.

OSTRREICHES NORMUNGS INSTITUT. **ONORM M 7135**. Compressed wood or compressed bark in natural state - Pellets and briquettes, Requirements and test specifications. Vienna, 2000.10p.

PASTRE, O. **Analysis of the technical obstacles related to the production and utilisation of fuel pellets made from agricultural residues**. EUBIA, 2002, 107p.

PELLET FUELS INSTITUTE. **PFI Standards Program**. Arlington, VA, 2014. Disponível em:
<<http://www.pelletheat.org/pfi-standards>> Acesso em: nov. de 2014.

PELLET FUELS INSTITUTE. **Pellet Fuel Institute (PFI) Standard Specification for Residential/Commercial Densified Fuel**. Arlington, VA, 2011. 10p.

PELLETS NEWS. **International Pellet Standards ISO 17225**. 2014. Disponível em:
<<http://www.pelletsnews.it/en/ricerca/223-international-pellet-standards-iso-17225.html>> Acesso em: fev. de 2015.

QUIRINO, W. F. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. 65f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, São Paulo. 1991.

SANTOS, J. R. S. **Estudo da biomassa torrada de resíduos florestais de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar para fins energéticos**. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiros”. Piracicaba. 2012.

SELKIMÄKI, M.; RÖSER, D. **Pellet Markets in Sweden**. METLA, Joensuu, 2008. 17p.

SOUZA, M. M. de. **Caracterização e viabilidade econômica do uso energético de resíduos da colheita florestal e do processamento de *Pinus taeda* L.** 77f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TEMMERMAN, M.; RABIER, F.; JENSEN, P. D.; HARTMANN, H.; BÖHM, T. Comparative study of durability test methods for pellets and briquettes. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 30, n. 11, p. 964-972, 2006.

THOMAS, M.; VAN DER POEL, A. F. B. Physical quality of pelleted animal feed 1. Criteria for pellet quality. **Animal Feed Science Technology**, v. 61, p. 89-112, 1996.

VALE, A. T. do; BRASIL, M. A. M.; CARVALHO, C. M. de; VEIGA, R. A. de A. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação, **Cerne**, v.6, n.1, p.83-88, 2000.

VIAK, A. **Wood pellets in Europe – State of the art, technology, activities, markets.** AEBIOM, Editor UMBERA. Part of the Thermie B Project, Oslo, 2000. 88p.

VISSOTTO, J. P. et al. Caracterização de *Pinus*, *Eucaliptus*, Casca de *Eucaliptus* e Resíduos Florestais e de Destoca para fins energéticos. **In:** VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, São Luis, Maranhão, 2012.

VINTERBACK, J. New technologies for production of (wood chips and) pellets. World **Bioenergy & Pellets**. Ed. Svebio. Stockholm. 2006.

WERTHER, J.; SAENGER, M.; HARTGE, E.U.; OGADA, T.; SIAGI, Z. Combustion of agricultural residues. **Progress in Energy and Combustion Science**. Hamburg, Germany, v.26, n.1, p.1-27, 2000.