

DANIELA LETÍCIA NONES

**CADEIA PRODUTIVA DE PELLETS E BRIQUETES DE
BIOMASSA RESIDUAL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA EM
SANTA CATARINA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientadora: Dra. Martha Andreia Brand.

**LAGES - SC
2014**

N812c

Nones, Daniela Letícia

Cadeia produtiva de pellets e briquetes de biomassa residual para geração de energia em Santa Catarina / Daniela Letícia Nones. - Lages, 2014.
124 p.: il.; 21 cm

Orientadora: Martha Andreia Brand

Inclui bibliografia.

Dissertação (mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveteinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2014.

1. Energia de biomassa. 2. Compactados de biomassa. 3. Organização setorial. 4. Potencial energético.

I. Nones, Daniela Letícia. II. Brand, Martha Andreia. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título

CDD: **333.794** - 20.ed.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Setorial do
CAV/UDESC

DANIELA LETÍCIA NONES

**CADEIA PRODUTIVA DE PELLETS E BRIQUETES DE
BIOMASSA RESIDUAL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA EM
SANTA CATARINA**

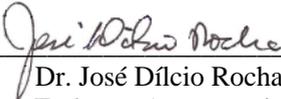
Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Banca examinadora

Orientadora:

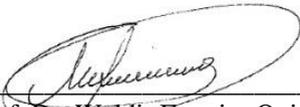
Dra. Martha Andreia Brand
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membros:



Dr. José Dílcio Rocha
Embrapa Agroenergia

Prof. Dr. Flávio José Simioni
Universidade do Estado de Santa Catarina



Prof. Dr. Waldir Ferreira Quirino
Universidade de Brasília

LAGES, 30/07/2014

Dedico este trabalho aos meus pais, Wera e Longino, que são meu porto seguro, meus maiores exemplos de amor incondicional, simplicidade, determinação e, principalmente, honestidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por nunca me deixar fraquejar, mesmo nos momentos em que duvidei da minha própria fé.

À minha família, que é a base de tudo. Agradeço meus pais, Wera e Longino, que sempre me ensinaram que o conhecimento é a coisa mais preciosa que existe. Ao meu irmão e sua esposa, Erlan Augusto e Aline, pela amizade e amor fraterno. Ao meu namorado Cícero, pelo amor e companheirismo sempre. Às famílias Nones e Krüger, pelas palavras de carinho e incentivo.

À minha orientadora, Dra. Martha Andreia Brand, pelos ensinamentos, dedicação e amizade ao longo destes anos. Estendo meus agradecimentos a toda sua família, que me acolheram nestes últimos meses.

Aos meus coorientadores, Dr. Aleksandro Bayestorff da Cunha e Dr. Waldir Ferreira Quirino, pelo apoio nesta pesquisa.

Aos membros da banca, Dr. Flavio José Simioni e Dr. José Dílcio Rocha, pela disposição em participar deste momento tão importante pra mim.

À Marli, Juliana, Elaine e Sabrina, por toda determinação em realizar este estudo, pelo auxílio na coleta de dados e nas análises químicas.

Aos amigos e colegas que me ajudaram na aplicação dos questionários, levantamento de dados e análises de laboratório: Alana, Ana Carolina, Tatiana e Gustavo.

Em especial, aos amigos mais próximos e que acompanharam de perto todo meu crescimento: Pollyni, Valéria, Morgana e Júlio. Agradeço a cada um de vocês por todos os momentos vividos; cada conselho, cada risada, cada cafezinho foram especiais e me ajudaram a seguir em frente.

Às empresas que disponibilizaram um pouco do seu tempo para nos receber e participar desta importante pesquisa.

À Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, pela bolsa de mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina – FAPESC, pela ajuda financeira ao projeto de pesquisa.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram para a confecção desta dissertação, muito obrigada!

RESUMO

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

Este trabalho foi realizado no estado de Santa Catarina, tendo como principal objeto de estudo a cadeia produtiva de compactados de biomassa residual. O trabalho buscou avaliar vários aspectos que influenciam a cadeia produtiva, de forma a dar visibilidade a este segmento no estado. O estudo teve como objetivos caracterizar os segmentos da cadeia produtiva e analisar o seu nível de estruturação; determinar o potencial de biomassa residual florestal e agrícola em Santa Catarina; e determinar as propriedades físicas e energéticas dos resíduos mais abundantes disponíveis no estado. A metodologia utilizada foi a aplicação de questionários aos representantes dos segmentos envolvidos no setor de compactados. Para a quantificação dos resíduos foram realizados levantamentos de dados setoriais. Para a avaliação física e energética dos resíduos foram determinadas as seguintes propriedades: teor de umidade, massa específica básica, poder calorífico superior, teor de cinzas, teor de voláteis e teor de carbono fixo. Como resultados mais relevantes, ficou evidente que a cadeia produtiva de compactados tem sua formação recente no estado, sendo ainda desestruturada e com pouca interação entre e dentro dos segmentos. A matéria-prima utilizada pelos produtores de compactados é oriunda de serrarias em sua

maioria, que fornecem maravalha de *Pinus* spp. com teor de umidade entre 8 – 10%. Em relação ao potencial de resíduos florestais e agrícolas, o estado é considerado um grande produtor. As mesorregiões oeste catarinense, norte catarinense e serrana, são as que mais produziram resíduos em 2012; e por esse motivo detêm grande potencial para a geração de energia através da biomassa residual. Os resíduos produzidos em maior quantidade foram os provenientes da cultura do milho, silvicultura, cultura do arroz e cultura da soja. Destes, os provenientes do setor florestal apresentaram os valores mais adequados para o uso na geração de energia. Dentre os resíduos agrícolas, o sabugo de milho foi o melhor, obtendo resultados similares aos resíduos de madeira.

Palavras-chave: energia de biomassa, compactados de biomassa, organização setorial, potencial energético.

ABSTRACT

NONES, Daniela Letícia. **Production chain of pellets and bricket residual biomass for energy generation in Santa Catarina.** 2014. 124 f. Dissertation (Master in *Forest Engineering – Area: Forest Engineering*) – Santa Catarina State University. Forestry Engineering Graduate Program, Lages, 2014.

This work was conducted in the state of Santa Catarina, the main object of study the production chain of compressed residual biomass. The study aimed to evaluate many aspects that influence the production chain in order to give visibility to this segment in the state. The study aimed to characterize segments of the production chain and analyze their level of structure, determine the potential for residual forest biomass and agricultural in Santa Catarina and determine the physical and energetic properties of the most abundant residues available in the state. The methodology was based on questionnaires to representatives of the segments involved in the compressed sector. To quantify the waste industry data surveys were conducted. To review the physical and energy waste were determined the following properties: moisture content, basic density, higher calorific power, ash, volatile and fixed carbon content. It could be observed that the emergence of this supply chain is in the state recently, still being unstructured and with little interaction between and within segments. The raw material used for producing compressed is coming from sawmills mostly, providing shavings of *Pinus* spp. with moisture content between 8 – 10%. In relation to the potential of forest and agricultural residues, the state is

considered a major producer. The west region, north region and the mountains region of Santa Catarina, are the regions that produced the most residues in 2012; and therefore hold great potential for energy generation through biomass waste. The residues produced in larger quantities were derived from corn, forestry, rice and soybeans. Of these, from the forest sector showed the best values for use in energy generation. Among agricultural residues, corn on the cob was the best, obtaining results similar to forestry residues.

Key-words: biomass power, compressed of biomass, sectorial organization, energy potential.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Representação esquemática do modelo geral de análise de uma cadeia produtiva	35
Figura 1.2 – Diagrama geral do complexo agroindustrial da madeira	37
Figura 1.3 – Esquema da cadeia produtiva de energia de biomassa	39
Figura 1.4 – (1) Pellets e (2) Briquetes	40
Figura 1.5 – Etapas da matéria-prima desde a sua coleta até sua transformação em pellets e/ou briquetes	41
Figura 1.6 – Mesorregiões de Santa Catarina	44
Figura 1.7 – Esquema da cadeia produtiva de compactados de biomassa residual em Santa Catarina ...	48
Figura 1.8 – Distribuição geografia das empresas pesquisadas em Santa Catarina	49
Figura 1.9 – Equipamento utilizado para peletização em Benedito Novo.....	56
Figura 2.1 – Mesorregiões de Santa Catarina	85
Figura 2.2 – Mapa ilustrando a disposição dos resíduos da cultura do milho nas mesorregiões de Santa Catarina em 2012	92
Figura 2.3 – Mapa ilustrando a disposição dos resíduos da silvicultura no estado de Santa Catarina em 2012	95
Figura 2.4 – Mapa ilustrando a distribuição dos resíduos da cultura do arroz nas mesorregiões de Santa Catarina em 2012.....	97
Figura 2.5 – Mapa ilustrando a distribuição dos resíduos da cultura da soja nas mesorregiões de Santa Catarina em 2012.....	99

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1.1 – Avaliação geral da cadeia produtiva de compactados em Santa Catarina.	65
Tabela 2.1 – Produtos, tipo, local de produção e coeficiente técnico dos resíduos levantados.	88
Tabela 2.2 – Quantidade e localização regional dos resíduos da silvicultura e culturas temporárias em Santa Catarina (em toneladas) no ano de 2012.	91
Tabela 2.3 – Quantidade e localização regional dos resíduos de culturas permanentes em Santa Catarina (em toneladas) no ano de 2012.	100
Tabela 3.1 – Características dos materiais coletados e analisados.....	111
Tabela 3.2 – Propriedades físicas dos resíduos analisados.....	114
Tabela 3.3 – Propriedades energéticas dos resíduos analisados.....	115
Tabela 3.4 – Potencial energético dos resíduos analisados.....	118

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	27
1 CARACTERIZAÇÃO DOS SEGMENTOS COMPONENTES DA CADEIA PRODUTIVA DE COMPACTADOS DE BIOMASSA RESIDUAL FLORESTAL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA EM SANTA CATARINA	29
RESUMO	29
ABSTRACT	30
1.1 INTRODUÇÃO	31
1.2 REVISÃO DE LITERATURA	33
1.2.1 Contexto econômico produtivo	33
1.2.2 Processos de compactação: briquetagem e peletização	39
1.3 MATERIAL E MÉTODOS	44
1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
1.4.1 Fornecedores de insumos	50
1.4.1.1 Fabricantes de equipamentos destinados à compactação de biomassa (Categoria 1)	50
1.4.1.2 Fornecedores de matéria-prima residual (Categoria 2)	51
1.4.2 Compactação e distribuição: produtores de compactados de biomassa (Categoria 3)	52
1.4.3 Consumidor final: consumidores de compactados de biomassa (Categoria 4)	59
1.4.4 Ambiente organizacional: entidades representativas do setor (Categoria 5)	62
1.4.5 Ambiente institucional: leis e normas (Categoria 6)	63
1.4.6 Aspectos importantes sobre a cadeia produtiva de compactados em Santa Catarina	64
1.5 CONCLUSÃO	68
1.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
1.7 ANEXOS	72

2 LEVANTAMENTO DO POTENCIAL DE BIOMASSA RESIDUAL AGRÍCOLA E FLORESTAL PARA A PRODUÇÃO DE COMPACTADOS PARA ENERGIA NO ESTADO DE SANTA CATARINA.....	79
RESUMO	79
ABSTRACT	80
2.1 INTRODUÇÃO	80
2.2 REVISÃO DE LITERATURA	82
2.3 MATERIAL E MÉTODOS	85
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	89
2.4.1 Caracterização das mesorregiões catarinenses.....	89
2.4.2 Análise dos principais resíduos gerados pelos setores florestal e agrícola em Santa Catarina	90
2.4.2.1 Silvicultura e culturas temporárias	90
2.4.2.2 Culturas permanentes	99
2.4.3 Resíduos agrícolas e florestais como fonte de energia	100
2.5 CONCLUSÃO	101
2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
3 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E ENERGÉTICAS DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS E FLORESTAIS ENCONTRADOS NO ESTADO DE SANTA CATARINA.....	105
RESUMO	105
ABSTRACT	106
3.1 INTRODUÇÃO	107
3.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	108
3.3 MATERIAL E MÉTODOS	110
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	113
3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
CONSIDERAÇÕES FINAIS	123

INTRODUÇÃO GERAL

Este trabalho foi realizado no estado de Santa Catarina, tendo como principal objeto de estudo a cadeia produtiva de compactados de biomassa residual. De maneira geral, o trabalho buscou avaliar vários aspectos que influenciam a cadeia produtiva, de forma a dar visibilidade a este segmento, que é recente no estado. O estudo teve cunho exploratório e não almejou esgotar as possibilidades de estudos na área.

O trabalho foi dividido em três capítulos com o objetivo de organizar as informações coletadas e proporcionar ao leitor um melhor entendimento sobre a realidade desta cadeia produtiva em Santa Catarina.

Para tanto, a primeira hipótese levantada foi que, a partir do momento em que se conhece a dinâmica da cadeia produtiva, é possível planejar ações para aperfeiçoar seu desempenho, impulsionando seu crescimento e desenvolvimento. Sendo assim, o capítulo 1 teve por objetivo caracterizar os segmentos da cadeia produtiva e analisar o seu nível de estruturação.

O capítulo 2 surgiu em função de uma ameaça destacada no capítulo anterior, onde foi observado que os produtores de compactados dependem apenas de uma fonte de biomassa residual. Dessa forma, a segunda hipótese do trabalho é que para poder mudar esta realidade, é necessário conhecer o potencial de geração de resíduos florestais e agrícolas das culturas mais representativas do estado. O capítulo 2 objetivou, então, determinar o potencial de biomassa residual florestal e agrícola para produção de compactados em Santa Catarina.

A terceira hipótese é que a determinação da qualidade energética dos resíduos é fundamental para a determinação do seu uso para a geração de energia. Dessa forma, o capítulo 3 teve como objetivo determinar as propriedades físicas e energéticas dos principais resíduos agrícolas e florestais encontrados em Santa Catarina, em relação à quantidade

produzida. Foi possível avaliar se os resíduos produzidos em maior quantidade no estado são indicados para a geração de energia, seja na forma de compactados ou através da queima direta.

1 CARACTERIZAÇÃO DOS SEGMENTOS COMPONENTES DA CADEIA PRODUTIVA DE COMPACTADOS DE BIOMASSA RESIDUAL FLORESTAL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA EM SANTA CATARINA

RESUMO

Este estudo teve como objetivo caracterizar os segmentos da cadeia produtiva de compactados provenientes de biomassa residual florestal em Santa Catarina e analisar o seu nível de estruturação. A metodologia utilizada foi a aplicação de questionário semiestruturado *in loco* nas empresas envolvidas neste processo, divididas em cinco segmentos: fabricantes de equipamentos destinados à compactação, fornecedores de matéria-prima, produtores de compactados, consumidores de compactados e entidades representativas do setor. Também foi realizada uma abordagem sobre a legislação envolvida no setor. Foi possível perceber que o surgimento desta cadeia produtiva no Estado é recente, a empresa fabricante de equipamentos começou suas atividades no ano 2000 e as produtoras de pellets entre 2007 e 2011. A matéria-prima utilizada é maravalha de *Pinus* spp., com umidade em torno de 8%, geralmente fornecida por serrarias e empresas de esquadrias. Os consumidores pesquisados, que atuam no setor de serviços (hotéis, academias e padarias) e indústria, relatam que o uso dos compactados para geração de energia propiciou redução de gastos quando comparado com outras fontes energéticas. O preço de venda dos pellets variou de R\$ 450,00 a R\$ 500,00 por tonelada e dos briquetes de R\$ 500,00 a R\$ 530,00 por tonelada. Existe pouca interação entre os segmentos da cadeia produtiva, o que prejudica seu desenvolvimento futuro e impede a ampliação dos negócios. Há necessidade de políticas públicas que incentivem o uso deste tipo de energia

que, além de ser renovável, é uma ótima opção para destinação correta dos resíduos florestais.

Palavras-chave: compactados de biomassa; energia de biomassa; organização setorial.

ABSTRACT

This study aimed to characterize segments of the production chain from compressed residual forest biomass in Santa Catarina and analyze their level of structuring. The methodology used was a questionnaire on the spot in companies involved in this process, divided into five segments: manufacturers of equipment for densification, suppliers of raw materials, producers of compressed, compressed consumers and representatives of the sector. An approach to the legislation involved in the sector was also performed. It could be observed that the emergence of this supply chain is in the state recently, the company manufactures equipment began its activities in 2000 and producing pellets between 2007 and 2011. The raw material used is wood shavings *Pinus* spp., with humidity around 8%, usually provided by sawmills and carpentry companies. Consumers surveyed who work in services (hotels, gyms and bakeries) and industry sector report that the use of compressed for energy generation caused a reduction in spending compared with other energy sources. The selling price of the pellets ranged from R\$ 450.00 to R\$ 500.00 per tonne of briquettes from \$ 500.00 to R \$ 530.00 per tonne. There is little interaction between the segments of the production chain, undermining its future development and prevents the expansion of business. There is need for public policies that encourage the use of this type of energy, besides it is renewable, is a great option for proper disposal of forest residues.

Key-words: compressed biomass; biomass energy; sectorial organization.

1.1 INTRODUÇÃO

A questão energética brasileira está em foco nos últimos anos, principalmente em relação à busca de fontes alternativas de energia que possam diminuir o consumo de combustíveis fósseis e amenizar os impactos gerados ao meio ambiente.

A partir do momento em que se percebeu que os recursos são finitos, que o consumo cresceu além da capacidade de fornecimento de cada época e que os impactos ambientais tornaram-se foco de discussões e preocupações, as questões energéticas também tomaram outro rumo. Atualmente, o foco de pesquisa do tema “energia” está centrado no apoio e desenvolvimento do uso de fontes alternativas, preferencialmente menos poluentes e de processos mais eficientes e menos impactantes, sem esquecer o custo econômico e social dos empreendimentos (BRAND; COSTA, 2007). Apesar de estas informações terem sido publicadas no ano de 2007, esta ainda é a realidade em torno das questões energéticas.

A energia solar, eólica, hídrica e da biomassa são consideradas fontes alternativas de energia. Estas energias renováveis podem e devem ser utilizadas de forma sustentável, de maneira tal que resulte em mínimo impacto ao meio ambiente. O desenvolvimento tecnológico tem permitido que elas possam ser aproveitadas como combustíveis alternativos (álcool) e na produção de calor e eletricidade, como energia eólica, solar e da biomassa (PACHECO, 2006).

O Brasil passa, atualmente, por uma grande crise energética. Enquanto em algumas regiões a população sofre com o excesso de chuva e alagamentos constantes, em outras não chove o necessário para manter o nível dos reservatórios de

água, que são importantes para a geração de energia hidroelétrica no país. Dessa forma, há necessidade de incentivar a geração de energia de forma distribuída e em pequena escala.

Neste sentido, a biomassa residual florestal e agrícola surge como uma alternativa, pois além de ser renovável, a sua utilização como fonte de energia diminui os impactos ambientais gerados com a destinação incorreta dos resíduos. Para melhor aproveitamento do potencial energético destes resíduos, a compactação (produção de pellets e briquetes) é o processo mais indicado. Segundo Carvalho *et al.* (2013), a mobilização das novas tecnologias de transformação de lenhas, resíduos lenhosos, industriais e agrícolas num produto final de fácil manuseio, transporte, armazenamento e utilização, como é o caso dos pellets, constitui um fator fundamental para o melhor uso da biomassa como alternativa aos combustíveis fósseis.

Estudos mostram que os compactados possuem diversas vantagens em relação a outros tipos de energia. Um estudo recente da Embrapa Agroenergia traz claramente estas vantagens quando afirma que os briquetes e pellets podem substituir e complementar outras fontes de energia como os derivados do petróleo, a lenha nativa ou plantada, o gás liquefeito do petróleo ou a eletricidade. Estes produtos contribuem ainda para a redução da disposição de resíduos no meio ambiente e da emissão dos gases de efeito estufa. Além disso, o estudo também aponta que os compactados apresentam vantagens frente a outras aplicações para as quais as matérias-primas poderiam ser utilizadas, por serem compactos e homogêneos, apresentarem facilidade de estocagem e elevado poder calorífico (DIAS *et al.*, 2012).

No entanto, as experiências já vivenciadas no Brasil, onde empresas do setor de compactação carecem de estudos específicos para sua implantação, demonstram que a cadeia produtiva de pellets e briquetes está crescendo sem organização

e estruturação. Este fato faz com que os projetos e investimentos implantados não tenham sucesso e não alcancem os objetivos já obtidos neste setor por outros países, como na Europa. Desta forma, é fundamental o desenvolvimento de estudos da cadeia produtiva para determinar os pontos fracos e fortes para investimento econômico e em pesquisa, desenvolvimento e inovação, para que se atinjam os patamares já alcançados em outras regiões do mundo.

Sendo assim, este capítulo tem como objetivo caracterizar os segmentos da cadeia produtiva de compactados provenientes de biomassa residual florestal em Santa Catarina e avaliar o seu nível de estruturação, através de uma análise estratégica (pontos fracos e fortes, ameaças e oportunidades), buscando entender como ocorre o fluxo de materiais, de capital e as transações econômicas entre eles. O trabalho também proporcionou o conhecimento de informações importantes para o crescimento e desenvolvimento da cadeia.

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta parte da dissertação é composta por dois tópicos importantes para o entendimento do universo do objeto de estudo: a cadeia produtiva de pellets e briquetes. O primeiro tópico traz informações sobre o contexto econômico produtivo e tem por objetivo situar o leitor a respeito dos aspectos da economia que balizaram este estudo. A segunda parte, que trata especificamente da produção de pellets e briquetes, é destinada ao entendimento das etapas do processo de compactação e suas vantagens em relação à biomassa não compactada.

1.2.1 Contexto econômico produtivo

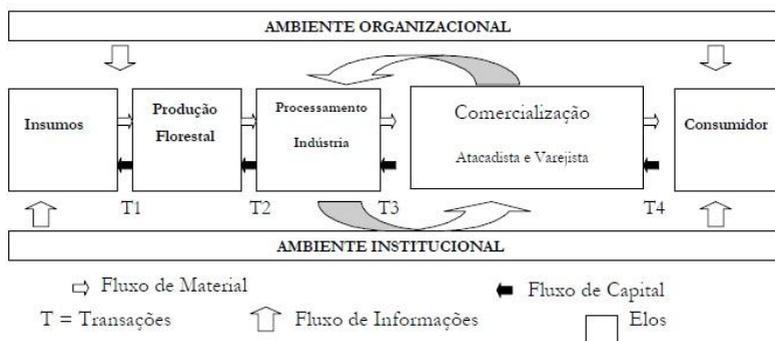
O agronegócio brasileiro tem sido foco de uma diversidade de estudos, tanto nacionais como internacionais,

objetivando propor políticas públicas e privadas, bem como a formulação de estratégias direcionadas à maior eficiência dos sistemas (SIMIONI; HOEFLICH, 2007). Para melhor entender a dinâmica de um determinado sistema produtivo é fundamental conhecer em profundidade as especificidades do mesmo e também seu peso e papel dentro das cadeias produtivas e setores em que se inserem, assim como das economias regionais e internacionais (SILVA *et al.*, 2009).

De maneira geral, as cadeias produtivas estão inseridas em complexos maiores, denominados complexos agroindustriais, que por sua vez formam um sistema agroindustrial. Segundo Batalha e Silva (2001), um complexo agroindustrial (CAI) tem como ponto de partida determinada matéria-prima de base, como por exemplo, o complexo da soja, do leite, etc. E um sistema agroindustrial (SAG) é o conjunto de atividades que concorrem para a produção de produtos agroindustriais, desde a produção de insumos até a chegada do produto final ao consumidor. Neste mesmo contexto, Zylberstajn (2000), afirma que o SAG é um conjunto de relações contratuais entre empresas e agentes especializados, cujo objetivo final é disputar o consumidor de determinado produto.

Uma cadeia produtiva é composta por elos que englobam as organizações supridoras de insumos básicos para a produção agrícola ou agroindustrial, as fazendas e agroindústrias com seus processos produtivos, as unidades de comercialização atacadista e varejista e os consumidores finais, todos conectados por fluxos de capital, materiais e de informação (Castro *et al.*, 2002a). A cadeia de produção é definida a partir de um determinado produto final (BATALHA; SILVA, 2001). A figura 1.1 traz a representação esquemática do modelo geral de análise de uma cadeia produtiva, demonstrando todas as transações e fluxos envolvidos.

Figura 1.1 – Representação esquemática do modelo geral de análise de uma cadeia produtiva.



Fonte: Simioni (2007, p. 25).

A busca de organização, sob a forma de cadeia produtiva, tem permitido ganhos de competitividade, graças a melhor exploração das oportunidades oferecidas por relações mais estreitas das empresas com seus fornecedores e clientes (FERREIRA e PADULA, 2002).

Neste sentido, a EMBRAPA têm realizado muitos estudos, onde associa ao diagnóstico da cadeia produtiva a análise prospectiva, como sendo uma técnica de planejamento usada para melhorar a base de informações disponível aos gestores, melhorando a tomada de decisão gerencial (SIMIONI, 2007).

A metodologia de análise de cadeias produtivas para prospecção tecnológica objetiva identificar o comportamento futuro dos fatores críticos ao desempenho de cadeias produtivas, visando orientar as ações dos centros de P&D (SIMIONI e HOEFLICH, 2007). Neste mesma conjuntura, Castro (2002) destaca que o uso das cadeias produtivas, como enfoque sistêmico, e a prospecção tecnológica são importantes ferramentas para a gestão competitiva, representando uma vantagem que pode contribuir para melhorar a capacidade analítica dos estudos, aplicáveis a processos produtivos de qualquer natureza.

Simioni *et al.* (2007), enfatizam que os estudos sobre cadeia produtiva no Brasil passaram a ter importância em virtude da ênfase que tem sido dada ao agronegócio. No setor florestal, denominado como “agronegócio florestal” pelos mesmos autores, os termos agronegócio, sistema e complexo agroindustrial, setor, bem como cadeia produtiva, ainda são bastante recentes e não se mostram suficientemente claros para quem está envolvido no setor.

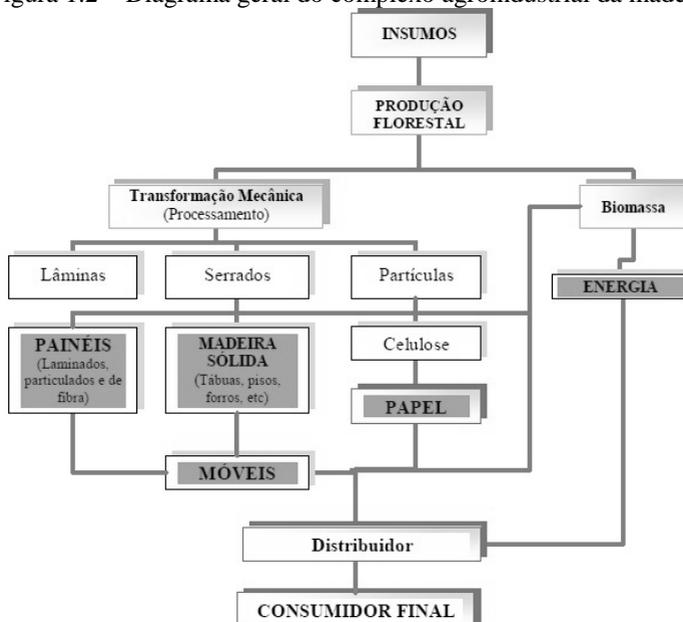
Quando o termo “agronegócio” vier acompanhado ou for delimitado, trata-se de um sistema dentro de outro sistema mais amplo. Assim, entende-se o agronegócio florestal como um recorte do agronegócio, isto é, todos os processos interligados que propiciam a oferta de produtos de origem florestal aos consumidores (SIMIONI *et al.*, 2007).

A partir do conceito de complexo agroindustrial citado anteriormente, segundo Simioni *et al.* (2007), define-se complexo agroindustrial da madeira como sendo todas as atividades ou processos industriais e comerciais que a madeira pode sofrer até chegar ao consumidor na forma de um produto final. Os autores ainda concluem que o CAI da madeira exige a participação de um conjunto de cadeias de produção, cada uma associada a um produto ou família de produtos. A figura 1.2 mostra o diagrama geral do CAI da madeira.

Conforme representado em destaque na figura 1.2, cinco cadeias produtivas fazem parte do CAI da madeira, sendo elas: de painéis, de madeira sólida, de papel, de móveis e de energia.

A cadeia de produção de energia apresenta um estreito vínculo com as outras cadeias produtivas que utilizam a madeira como principal matéria-prima em seus processos industriais. Isso se deve ao fato de que a biomassa utilizada para a produção de energia é proveniente, basicamente, dos resíduos industriais gerados nos processos de utilização da madeira, sobretudo da indústria de transformação mecânica e, em menor escala, de toras finas oriundas dos desbastes das florestas (SIMIONI *et al.*, 2007).

Figura 1.2 – Diagrama geral do complexo agroindustrial da madeira



Fonte: Simioni *et al.* (2007, p. 105).

Simioni *et al.* (2007) também destacaram que a utilização da biomassa para a geração de energia pode ser de duas formas diferentes: produção de energia térmica e co-geração de energia. O primeiro exemplo consiste no aproveitamento do calor obtido pela queima da biomassa para a geração de vapor utilizado para a secagem de madeira, lâmina, celulose, papel ou utilizado diretamente para a produção de produtos de outras cadeias produtivas, como ocorre na cerâmica vermelha e nas agroindústrias de alimentos e bebidas. A co-geração consiste na geração de energia térmica e elétrica através de um circuito fechado de geração de vapor. O vapor aquecido pela queima da biomassa passa por turbinas, gerando energia elétrica, que é incorporada na rede de distribuição da concessionária.

Além disso, a biomassa pode ser transformada em produtos compactados, denominados pellets ou briquetes,

dependendo do diâmetro final. Estes produtos são considerados substitutos do cavaco e da lenha e possuem vantagens em relação à estocagem e potencial de geração de energia. O processo de compactação também pode ser chamado de densificação, visto que consiste na redução do volume e aumento da densidade do material, através de equipamentos específicos (peletizadoras e briquetadeiras). De acordo com Carvalho *et al.* (2013), no Brasil, a densificação da biomassa para fins energéticos não é fato novo, uma vez que há fábricas de briquetes espalhadas pelo país e diversos segmentos fazem uso desse combustível, como padarias, cerâmicas, pizzarias e mesmo residências.

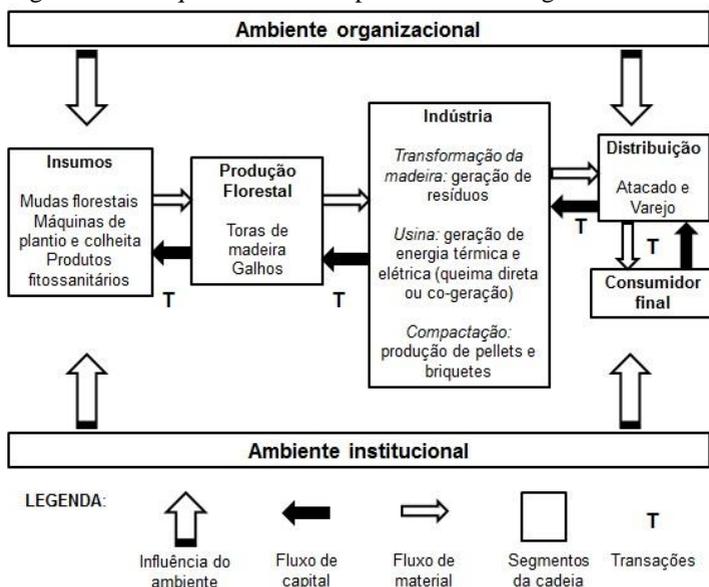
Dessa forma, a figura 1.3 mostra o esquema da cadeia produtiva de energia. Esta cadeia produtiva é composta pelas empresas fornecedoras de insumos florestais, necessários para a formação das florestas (produção florestal), desde o cultivo de mudas até os cuidados fitossanitários. No processamento industrial ocorrem as transformações da madeira, que podem ser primária, secundária ou terciária. Fazem parte da transformação primária as serrarias e laminadoras, da secundária as indústrias de transformação mecânica e beneficiamento, e da terciária as indústrias que produzem produtos finais, como as moveleiras e convertedoras de papel (SIMIONI *et al.*, 2007).

Estas etapas de transformação geram resíduos, que passam a ser chamados de matéria-prima e são reaproveitados nas usinas para geração de energia térmica ou elétrica, através da queima direta ou da co-geração. Estes mesmos resíduos também podem ser empregados no processo de compactação, gerando pellets e/ou briquetes. Os produtos gerados, seja energia ou os compactados, são distribuídos até chegar ao consumidor final.

Os ambientes organizacional e institucional influenciam toda a cadeia produtiva. O primeiro é formado pelos sindicatos relacionados à área, empresas que realizam serviços

terceirizados, universidades e demais instituições de ensino. Já o ambiente institucional é representado pela legislação e normas que direcionam todos os processos envolvidos.

Figura 1.3 – Esquema da cadeia produtiva de energia de biomassa.



Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de Simioni (2007) e Castro *et al.* (2002).

1.2.2 Processos de compactação: briquetagem e peletização

A briquetagem ou a peletização de resíduos agrícolas e agroindustriais consistem na compactação desses resíduos, de modo a obter produtos com maior densidade (em kg/m^3) e densidade energética (em kcal/m^3) superiores às dos resíduos originais (DIAS *et al.*, 2012). Carvalho *et al.* (2013), afirmam que a peletização é um processo de densificação da biomassa com o objetivo de reduzir seu volume, baratear o transporte,

facilitar seu uso final, além de aumentar a quantidade de energia por unidade de volume. O mesmo conceito pode ser estendido para a briquetagem.

A diferença entre os dois processos é que eles geram produtos com dimensões distintas. Os briquetes possuem diâmetro médio igual ou superior a 50 mm e são considerados substitutos diretos da lenha. Já os pellets são compactados de menor diâmetro, variando de 6 mm a 16 mm, e são empregados na substituição dos cavacos, conforme figura 1.4.

Figura 1.4 – (1) Pellets e (2) Briquetes.



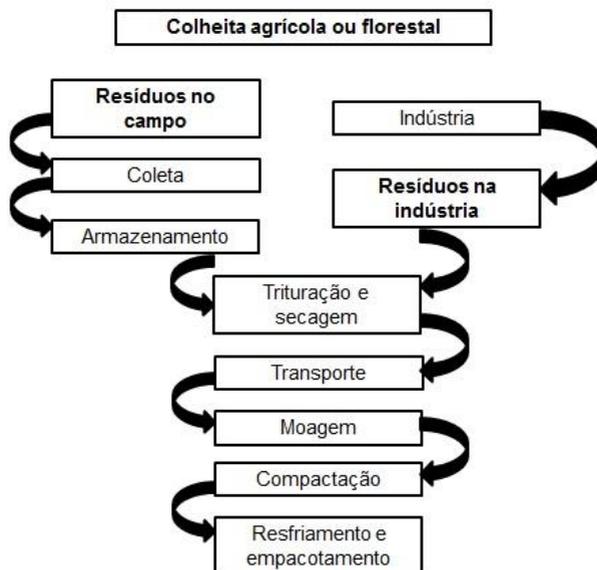
Fonte: Autora (2014).

Os briquetes e pellets podem ser produzidos a partir de diversos tipos de biomassa residual das cadeias produtivas agrícola e florestal, como casca de arroz, sabugo e palha de milho, bagaço de cana-de-açúcar, maravalhas e cavacos de madeira. De acordo com Simioni (2007), a partir do momento em que esta biomassa é utilizada em outro processo produtivo, passa a ser considerada como matéria-prima deste.

A boa qualidade da matéria-prima empregada no processo de compactação é fundamental para que o produto final também tenha qualidade e seja aceito no mercado consumidor. Desde a coleta dos resíduos nos locais de produção (campo ou indústria) até a entrada no processo de fabricação de pellets e/ou briquetes, o material passa por diversas etapas para garantir a qualidade desejada. A figura 1.5

mostra as etapas pelas quais passa a matéria-prima até sua transformação em pellets e/ou briquetes.

Figura 1.5 – Etapas da matéria-prima desde a sua coleta até sua transformação em pellets e/ou briquetes



Fonte: Elaborado pela autora, com base no modelo proposto por Nilson *et al.* (2011), citado por Dias *et al.* (2012).

A biomassa residual pode ser encontrada em pelo menos dois momentos do ciclo produtivo de qualquer produto florestal ou agrícola. Os resíduos podem ser gerados no campo, logo após a colheita, ou na indústria, imediatamente após o beneficiamento da cultura ou produto principal. Após a colheita da madeira, por exemplo, ficam no campo galhos, folhas e ponteiros de árvores que podem ser reaproveitados no processo de compactação. Da mesma forma, nas indústrias de beneficiamento, após as transformações dadas à madeira, são gerados resíduos (maravalhas e pó-de-serra) que se tornam importante matéria-prima para a compactação.

Quando os resíduos são gerados no campo, existe a necessidade de realizar a coleta. Este é um processo difícil e pouco conhecido, se tornando, muitas vezes, um dos maiores empecilhos para a utilização da biomassa residual na geração de energia.

Posteriormente a coleta diretamente no campo ou na indústria a matéria-prima precisa estar em condições ideais para entrar no processo de compactação. Dias *et al.* (2012), afirmam que dependendo das condições iniciais, pode ser necessário triturá-la para diminuir o tamanho das partículas ou secá-la para reduzir o teor de umidade.

A biomassa que vai ser empregada para a produção de pellets ou briquetes pode estar em tamanho que seja incompatível com o equipamento de compactação, sendo assim necessária a trituração para redução do tamanho. A indicação do equipamento para a trituração deve ser feita observando a quantidade de material a ser triturado, o tamanho da matéria-prima de entrada e o tamanho de partícula ideal para cada tipo de equipamento de compactação (DIAS *et al.*, 2012).

O teor de umidade da matéria-prima é uma variável extremamente importante durante o processo de compactação. Se o material estiver seco demais, irá dificultar o processo de ligação entre as partículas durante a compactação. Em contrapartida, se a umidade estiver presente em excesso, pode haver explosões durante o processo devido à formação de vapor em função do aquecimento gerado pelo atrito das partículas com o equipamento (peletizadora ou briquetadeiras).

De acordo com Demirbas *et al.* (2004), alguns estudos mostram que o teor de água ideal, para a maioria das biomassas, está entre 5-10%, pois resulta em um produto mais denso, estável e durável do que briquetes compactados com teores de água acima dos 15%. No entanto, ainda de acordo com os autores, outros estudos sugerem teores de umidade entre 15 e 23% para produtos como serragem e palha de trigo.

Existem várias técnicas de secagem para reduzir o teor de umidade, desde a simples e econômica secagem ao sol até sistemas mais sofisticados como o forno rotatório. A escolha por um dos sistemas depende de avaliações econômicas. Os sistemas mais sofisticados garantem secagens rápidas e controladas, mas influenciam consideravelmente nos custos de investimentos e se justificam apenas para grandes volumes de produção (DIAS *et al.*, 2012).

A etapa de moagem também é de grande importância quando se trata da qualidade do produto final da compactação. De acordo com Dias *et al.* (2012), se o processo de trituração for pouco eficiente (ou não existir) a matéria-prima pode constituir-se de partículas de grandes dimensões que ao entrar nos equipamentos para compactação, podem causar entupimento do material. Nesse caso, é indicada a moagem em moinho de martelo para ajustar a granulometria das partículas em função do equipamento utilizado.

Estudos mostram que a condição ideal é a presença de partículas de diferentes tamanhos, pois isso possibilita a melhora no empacotamento das partículas e contribui para a alta resistência dos briquetes e pellets (DIAS *et al.*, 2012). Isto facilita com que não fiquem espaços vazios entre as partículas, aumentando a densidade final do produto.

No processo de compactação propriamente dito, são utilizados equipamentos denominados peletizadoras e briquetadeiras para produção de pellets e briquetes, respectivamente. Em relação às briquetadeiras, existem vários modelos nacionais disponíveis no mercado, que atuam basicamente por pressão ou por extrusão. O modelo a ser utilizado depende de alguns fatores, como: tipo de matéria-prima, granulometria do material, teor de umidade e volume de produção desejado.

Quando se trata de peletizadoras, 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. Os equipamentos projetados exclusivamente para biomassa são fabricados no exterior, onde este tipo de tecnologia e a utilização da biomassa para a produção de pellets já são mais difundidas.

1.3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no estado de Santa Catarina, dividido nas seis mesorregiões: oeste catarinense, norte catarinense, serrana, vale do Itajaí, grande Florianópolis e sul catarinense, conforme a base cartográfica do IBGE. O mapa das mesorregiões está representado na figura 1.6.

Figura 1.6 – Mesorregiões de Santa Catarina.



Fonte: IBGE (2014).

A forma de pesquisa adotada foi a elaboração e aplicação de questionários aos representantes dos diferentes segmentos que compõem a cadeia produtiva de compactados do estado. O

projeto “Compactados de biomassa para a geração de energia: acompanhamento da cadeia produtiva para a implantação de um Centro Avançado de Estudos em SC e normatização de produtos” foi aprovado pelo CEPESH (Comitê de Ética e Pesquisa em Seres Humanos) da UDESC, através do parecer consubstanciado nº 306.674, na data de 17 de junho de 2013. Os questionários aplicados durante o estudo também aprovados (ANEXOS).

Os questionários foram elaborados separadamente para cada segmento, visando buscar informações relevantes sobre a atual situação do mercado de compactados sob a visão de todos os envolvidos. Dessa forma, os componentes da cadeia produtiva de compactados foram divididos em seis categorias:

1 – Fabricantes de equipamentos destinados à compactação de biomassa: nesta categoria se encaixam empresas que produzem briquetadeiras e peletizadoras para produção de compactados;

2 – Fornecedores de matéria-prima: esta categoria é representada pelas indústrias que disponibilizam ou tem potencial de disponibilizar matéria-prima para a produção de compactados;

3 – Produtores de compactados de biomassa: fazem parte desta categoria todas as empresas que produzem pellets e/ou briquetes, independente do tamanho da empresa;

4 – Consumidores de compactados de biomassa: caracterizam-se por consumir os produtos compactados de biomassa, podendo ser indústrias, setor de serviços (hotéis, academias, panificadoras, etc) ou uso doméstico;

5 – Entidades representativas do setor: nesta categoria foram reunidas empresas que atuam no setor realizando análises químicas relacionadas à qualidade do produto e matéria-prima, sindicatos e associações que representam o setor.

6 – Leis, instruções normativas ou normas para realização das atividades envolvidas no setor. Nesta categoria

não foi realizado aplicação de questionário, foi feito apenas um apanhado geral sobre a legislação que tem influência na cadeia produtiva.

Após a definição e caracterização dos componentes da cadeia produtiva, determinou-se que cada mesorregião deveria ter pelo menos um representante em cada categoria pesquisada.

A seleção prévia das empresas e instituições a serem pesquisadas e visitadas foi através da internet e levantamento de dados setoriais. Conforme se dava a aplicação dos primeiros questionários, uma rede de potenciais empresas a serem visitadas foi sendo criada. Segundo Mattar (2006), este tipo de procedimento recebe o nome de amostra autogerada, onde se inicia a partir da indicação de potenciais entrevistados e cresce sucessivamente a partir de indicações. Dessa forma, ao aplicar o questionário em uma empresa produtora de compactados, conseguia-se o nome das empresas que compravam o produto e também quem fornecia a matéria-prima, sendo possível a localização dos mesmos para aplicação do questionário.

Em relação ao perfil dos representantes das empresas que responderam ao questionário, foram selecionados os proprietários ou responsáveis pelo setor envolvido diretamente com os compactados. A principal característica desejada era que os entrevistados tivessem domínio sobre o processo de produção ou como o produto era utilizado pela empresa, pois dessa forma poderiam responder às perguntas com maior facilidade e clareza.

O levantamento de dados foi realizado durante os meses de julho a dezembro de 2013, sendo que todos os participantes da pesquisa foram visitados *in loco*. A visita consistiu na aplicação do questionário ao representante da empresa ou entidade durante entrevista. Além disso, a equipe do projeto também visitou as instalações das empresas produtoras de compactados e estabelecimentos consumidores do produto com o objetivo de conhecer o processo de produção e utilização dos compactados.

A análise estratégica consistiu na avaliação dos pontos fracos e fortes, como também das ameaças e oportunidades, relacionados à cadeia produtiva de compactados (pellets e briquetes). Esta avaliação foi realizada com base nas respostas obtidas nos questionários e também na literatura, onde se buscou trabalhos que já haviam realizado este tipo de análise na área de compactados, como o levantamento sobre pellets e briquetes realizado pela Embrapa Agroenergia em 2012 (Dias *et al.*, 2012).

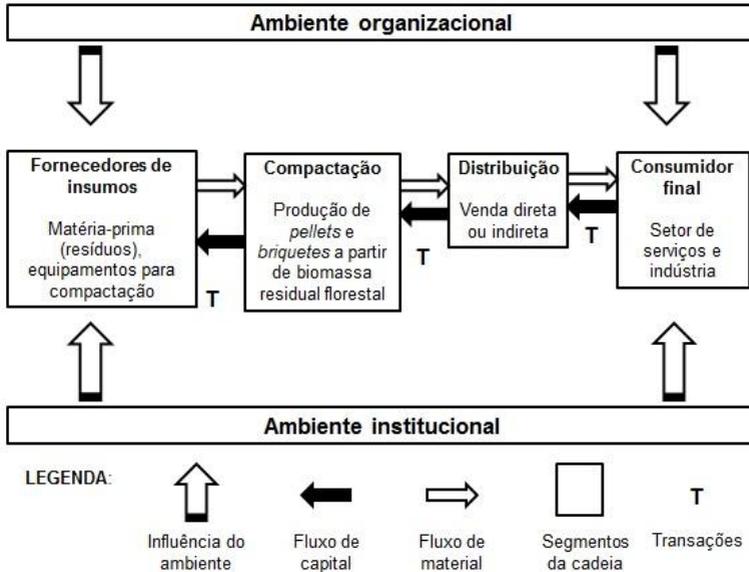
Com a autorização dos representantes, também foram coletadas amostras de material, para estudos posteriores, nas empresas fornecedoras de matéria-prima, produtoras de compactados e consumidores de compactados. Apenas como forma de agradecimento, valorizando a participação da empresa nesta pesquisa, foram emitidos laudos de qualidade gratuitos das amostras coletadas durante as visitas.

1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos conceitos apresentados anteriormente, é possível afirmar que o objeto de estudo trata-se de uma cadeia produtiva, pois foi possível observar o fluxo de materiais e de capital entre os diferentes segmentos e também a presença de transações econômicas entre eles. Neste caso, a energia térmica (calor) é o produto final, e os pellets e briquetes podem ser considerados como a forma de obtenção deste tipo de energia.

Ainda de acordo com a literatura, foi estabelecido o esquema da figura 1.7 para demonstrar as relações que ocorrem na cadeia produtiva de compactados de biomassa residual florestal no estado de Santa Catarina.

Figura 1.7 – Esquema da cadeia produtiva de compactados de biomassa residual em Santa Catarina



Fonte: Autora (2014).

O primeiro elo da cadeia representado na figura 6 corresponde aos fornecedores de insumos e engloba as empresas fabricantes de equipamentos destinados à compactação (categoria 1) e empresas que fornecem a matéria-prima (categoria 2). O segundo elo da cadeia representa as empresas produtoras de compactados de biomassa residual (categoria 3). Estas mesmas empresas realizam a distribuição do produto, que ocorre na forma de venda direta ao consumidor. O produto compactado também pode ser encaminhado para empresas que trabalham com a revenda, caracterizando a venda indireta. Isso ocorre, em alguns casos, com os briquetes, que são vendidos pelos produtores para lojas de material de construção e supermercados, para só então chegar ao consumidor final. O segmento denominado consumidor final é composto por empresas do setor de serviços

(hotéis, motéis, academias e pizzarias) e indústrias (categoria 4).

O ambiente organizacional é representado pelos sindicatos, universidades e empresas que realizam análises tecnológicas da biomassa (categoria 5). E o ambiente institucional é representado pela legislação e normas que direcionam todos os processos envolvidos, desde a produção florestal até a compra e venda de resíduos e produtos compactados (categoria 6).

Na figura 1.8 está demonstrada a distribuição geográfica das empresas pesquisadas. Das seis mesorregiões do estado, quatro tiveram representação na pesquisa, sendo elas: norte catarinense, grande Florianópolis, serrana e vale do Itajaí. Uma empresa produtora de equipamentos para compactação situada no Rio Grande do Sul também foi pesquisada.

Figura 1.8 – Distribuição geográfica das empresas pesquisadas em Santa Catarina.



Fonte: Autora (2014).

A seguir, são demonstrados os resultados dos questionários para todos os segmentos pesquisados.

1.4.1 Fornecedores de insumos

1.4.1.1 Fabricantes de equipamentos destinados à compactação de biomassa (Categoria 1)

De acordo com a pesquisa, existe apenas uma empresa que produz equipamentos destinados à compactação de biomassa no estado. Ela situa-se no município de Agrolândia, que está inserido na mesorregião vale do Itajaí. A empresa trabalha com uma gama variada de produtos, desde picadores, triturados e secadores até briquetadeiras e peletizadoras. O começo das atividades no ramo da compactação foi no ano 2000 e o maior interesse dos clientes são os projetos destinados à fabricação de briquetes, porém, a procura por projetos na área de produção de pellets vem aumentando nos últimos anos. Estes dois fatores evidenciam que a cadeia de compactados é um nova no estado, principalmente quando se fala em peletização, em função de ser uma tecnologia menos conhecida que a briquetagem.

O custo de investimento para implantação de um projeto de compactação depende do tamanho do empreendimento que o cliente necessita, principalmente em função da capacidade de produção desejada, expressa em toneladas por hora, e local de instalação da planta. Outros fatores também afetam os custos de implantação, como por exemplo, necessidade de picadores e secadores para o pré-tratamento da biomassa.

A empresa possui clientes em vários estados brasileiros e alguns países da América do Sul, sendo geralmente empresas que possuem áreas de passivos ambientais e precisam dar um destino correto ao material, empresas do setor florestal, indústrias de papel, agroindústrias e indústrias de móveis. Apesar de a empresa estar instalada em Santa Catarina, pode-se

perceber que seu principal local de atuação não é o estado, visto que seus maiores projetos não estão instalados em Santa Catarina.

Durante a aplicação do questionário, também foi perguntado ao representante da empresa quais eram seus concorrentes, ou seja, quais as empresas que produziam o mesmo tipo de equipamento e que possuíam a mesma área de atuação. Uma das empresas citadas está localizada no município de São Leopoldo, no Rio Grande do Sul. Esta empresa começou suas atividades no ano de 1984 no ramo de compactação, produzindo uma linha de equipamentos completa para a fabricação exclusivamente de briquetes, incluindo secadores, picadores e briquetadeiras. Atualmente, a empresa gaúcha segue com a mesma gama de produtos e conta com mais de 500 briquetadeiras instaladas.

Uma dificuldade apontada pela empresa de São Leopoldo, em relação à expansão dos negócios, é que ainda há grande concorrência entre o briquete e a lenha. Em algumas regiões, a oferta de lenha é alta, fazendo com que o preço seja mais atrativo que o briquete. Isso faz com que os produtores de briquetes não tenham necessidade de aumentar sua produção e, conseqüentemente, adquirir novos equipamentos.

1.4.1.2 Fornecedores de matéria-prima residual (Categoria 2)

Nesta categoria foram aplicados quatro questionários, sendo três na mesorregião serrana (Lages e Curitiba) e um na mesorregião vale do Itajaí (Timbó). Os quatro locais visitados possuem características diferentes, por esse motivo serão tratados separadamente: empresa 1 e 2 para Lages, empresa 3 para Curitiba e empresa 4 para Timbó.

A empresa 1 confecciona carrocerias de madeira e a produção de resíduos é pequena. Segundo o entrevistado, não compensa armazenar para vender quando atingir uma quantidade maior, principalmente por não ter um pátio

adequado para isso. Dessa forma, a maravalha produzida é doada para pequenos produtores de aves ou para revestimento de carrocerias para transporte de animais.

A empresa 2 é uma madeireira e produz cerca de 480 m³ de resíduos ao mês, sendo 90% de maravalha e 10% de pó de serra. Geralmente, a madeireira trabalha com as espécies de *Pinus* spp. e *Araucaria angustifolia*. Atualmente, os resíduos são vendidos para uma empresa produtora de briquetes e para cerâmica vermelha. O dono da empresa ressalta que o preço de venda do m³ de maravalha caiu pela metade nos últimos anos e que já está mais difícil conseguir compradores para este tipo de produto.

A empresa 3 também é uma madeireira e atende exclusivamente uma empresa produtora de pellets. A produção mensal de maravalha seca de *Pinus* spp. fica em torno de 100 – 120 toneladas ao mês.

A empresa 4 trabalha com a fabricação de portas de madeira, de *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp. São produzidas 50 toneladas de maravalha ao mês, que são vendidas para usuários da região, que utilizam como cama de aviário.

Nos casos em que os resíduos são destinados à produção de compactados, não ocorre exigência do comprador em relação à qualidade da matéria-prima. Também não são firmados contratos entre estes fornecedores e os compradores (empresas produtoras de compactados) para garantia do fornecimento de matéria-prima.

1.4.2 Compactação e distribuição: produtores de compactados de biomassa (Categoria 3)

Um estudo realizado pela Embrapa Agroenergia (2012), com 14 empresas produtoras de pellets e briquetes no Brasil, revelou que 72% destas empresas foram criadas a partir do ano 2000 e que surgiram para suprir a crescente demanda por fontes de energia alternativas ao petróleo e à lenha. O estudo

também mostrou que 80% das empresas analisadas situam-se nos estados de São Paulo, Paraná e Santa Catarina (DIAS *et al.*, 2012).

Nesta categoria, a ideia inicial era abordar tanto produtores de pellets como de briquetes. Durante o processo de levantamento de dados através da internet, cinco empresas catarinenses produtoras de briquetes foram procuradas para participar do estudo. Destas, em três a visita foi negada, com a alegação de que não tinham interesse em participar deste tipo de pesquisa, e as outras duas não trabalhavam mais com a produção deste tipo de compactado. Uma delas deixou de produzir e comercializar briquetes pelo fato de que seus principais clientes estavam localizados no estado de São Paulo, e o valor do frete para entrega não permitia que o produto fosse competitivo no mercado. A outra parou a produção por ter poucos clientes, inviabilizando a continuação do negócio. Dessa forma, o estudo foi direcionado apenas para as empresas produtoras de pellets.

Através do levantamento realizado, foram identificadas três empresas produtoras de pellets no estado. Estas três empresas foram visitadas e responderam ao questionário proposto, mostrando interesse em dialogar sobre o atual cenário da produção de pellets em Santa Catarina. As empresas estão bem distribuídas no estado, localizando-se em três mesorregiões distintas: serrana (Curitibanos), vale do Itajaí (Benedito Novo) e norte catarinense (Campo Alegre). São empresas jovens no ramo de peletização, sendo que duas delas iniciaram suas atividades no ano de 2007 e outra apenas em 2011.

As duas empresas que começaram suas atividades em 2007, já produziam ou importavam equipamentos para a utilização de pellets, os chamados queimadores. Elas perceberam que não adiantava fornecer o equipamento se havia dificuldade para a aquisição do insumo necessário para o seu

funcionamento. A partir disso, decidiram investir também na produção de pellets.

Em relação à matéria-prima, as três empresas utilizam resíduos florestais somente de madeira de *Pinus spp.* As empresas não possuem sistema de secadores, por esse motivo têm preferência pelo compra do resíduo seco, denominado maravalha, com umidade entre 8 – 10%. Dessa forma, as fontes de matéria-prima são restritas, sendo geralmente indústrias de esquadrias de madeira, indústrias moveleiras e serrarias, que produzem o resíduo na umidade desejada.

No mesmo estudo realizado pela Embrapa Agroenergia (2012), citado anteriormente, foi levantado que, em algumas regiões, o transporte da matéria-prima chega a atingir até 20% do custo de produção. Esse fato determina o uso de matéria-prima local pelas empresas, que geralmente se valem de resíduos provenientes das mesmas regiões onde se situam suas unidades produtivas (DIAS *et al.*, 2012). Esta é a realidade do estado, onde se observa que as empresas produtoras de pellets estão localizadas próximas aos seus fornecedores de matéria-prima, minimizando os custos com transporte, caracterizando-se como uma vantagem econômica. Em contrapartida, as empresas acabam dependendo de um ou dois fornecedores regionais, o que pode gerar gargalos na produção, caso a matéria-prima não seja disponibilizada regularmente.

Além de ser um insumo indispensável na produção de pellets, a maravalha seca pode ser utilizada como cama de aviário pelos produtores de aves e suínos. A produção de aves e suínos é de grande importância no cenário econômico do Estado, principalmente na mesorregião oeste. Desse modo, um resíduo que anteriormente era tratado como lixo, passou a ter valor comercial e seu preço acompanha o crescimento do mercado. De maneira geral, os custos de produção em relação à matéria-prima correspondem a aproximadamente 60 a 70% do total.

Outro ponto que deve ser destacado é a inexistência de contratos formais entre os produtores de pellets e os fornecedores de matéria-prima. A negociação de preço e quantidade de maravalha a ser entregue ocorre apenas verbalmente, o que pode acarretar em falta de entrega ou oportunismo em relação a preços abusivos por parte dos fornecedores de matéria-prima.

Quanto ao tratamento dado à matéria-prima antes do processo de compactação, são realizadas duas etapas. A primeira delas consiste na moagem do material em moinho de martelo com o objetivo de homogeneizar a granulometria e a segunda é a umidificação do material, que deve estar em torno de 12 – 15% para entrar no processo de fabricação. A matéria-prima comprada está geralmente abaixo da umidade ideal para a utilização na peletizadora, em torno de 8 – 10%, o que prejudica o processo produtivo. Dessa maneira, a umidificação faz-se necessária para garantir a qualidade do produto final. Não é utilizado nenhum aglutinante durante o processo de compactação, pois a própria lignina presente na madeira ao ser aquecida funciona como um ligante natural, conferindo ao pellet resistência mecânica e impermeabilidade.

A média da produção mensal de cada uma das empresas é de 300 toneladas, podendo até duplicar na época do inverno, quando a demanda pelo produto cresce consideravelmente. A produção é totalmente absorvida pelo mercado interno e os principais compradores são do setor de serviços (hotéis, motéis, academias e pizzarias) e do setor industrial. Além de atender grande parte da demanda do estado, as empresas enviam o pellet catarinense para outros locais, principalmente Paraná e Rio Grande do Sul, além de algumas cidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Goiás e Minas Gerais.

A venda é realizada de forma direta, onde as próprias empresas negociam com os compradores. A forma de armazenamento para comercialização também é similar nas três empresas pesquisadas; o pellet pode ser comprado em

sacos plásticos de 15 – 25 Kg ou *big bags* de 750 – 1300 Kg. As próprias empresas fazem a distribuição do produto, entregando a quantidade vendida diretamente ao seu cliente. Nesta etapa do processo foi identificada uma cooperação entre duas empresas. Por atuarem em regiões distintas, quando aparece um cliente fora do seu raio de atuação, uma empresa repassa para a outra, e vice-versa. Isso ocorre para que o custo de transporte da entrega do produto não seja encarecido, e a empresa possa oferecer um preço mais atrativo ao cliente.

Os equipamentos utilizados pelas empresas que produzem pellets em Santa Catarina não são específicos para a peletização de biomassa. As três empresas pesquisadas utilizam equipamentos fabricados por uma empresa localizada no estado de São Paulo. São máquinas para peletização de ração animal adaptadas para peletizar biomassa florestal. Na maioria dos casos, apenas a matriz peletizadora (peça responsável por dar formato ao pellet e que sofre o maior atrito com a matéria-prima) é importada e o restante do equipamento é nacional, conforme mostra a figura 1.9.

Figura 1.9 – Equipamento utilizado para peletização em Benedito Novo, detalhe para a matriz onde se formam os pellets.



Fonte: Autora (2013).

Os proprietários reconhecem que este não é o tipo de equipamento ideal, principalmente no que diz respeito à manutenção da máquina e à qualidade final do produto, que sofre influência direta da pressão utilizada para compactação. Além disso, a produtividade final também é prejudicada, visto que o equipamento precisa parar de funcionar para manutenção das peças com certa frequência. Dessa forma, pode-se afirmar que o uso de equipamentos inadequados para a peletização de biomassa residual é um fator limitante para o crescimento e desenvolvimento da cadeia produtiva.

É válido mencionar que na época de implantação destas empresas não existia no Brasil uma tecnologia consolidada em relação à peletização e importar este tipo de equipamento era um investimento muito alto para um negócio considerado instável em relação ao mercado consumidor. Deve-se, também, considerar que a peletização não era a principal atividade das empresas em questão, dessa maneira, o investimento deveria ser cauteloso para não prejudicar os outros negócios da empresa.

Quando se trata de exportar a produção, os entrevistados contam que já pensaram nessa possibilidade, mas que ainda existem alguns empecilhos. Um exemplo é a adequação às normas técnicas internacionais exigidas por países como Alemanha, Suécia, Áustria, Itália e Estados Unidos, que possuem suas próprias regras para produção e qualidade final dos pellets. Esta não é apenas a realidade catarinense, mas também brasileira. No estudo realizado pela Embrapa Agroenergia (2012), a inexistência de laboratórios para análises técnicas dos briquetes e pellets no Brasil e a falta de conhecimento sobre as normas vigentes no mercado externo foram frequentemente citadas pelos produtores como obstáculos à exportação de produtos.

Outro entrave é a quantidade de pellets produzida no estado de Santa Catarina, que é pequena em relação às demandas para exportação. As três empresas pesquisadas, em

conjunto, produzem aproximadamente 900 toneladas ao mês, o que não seria suficiente para exportar sem deixar de atender o mercado interno.

Após estas observações, é possível afirmar que a exportação de pellets com produção em Santa Catarina é algo distante. É uma ideia que precisa ser amadurecida e cercada de estudos de logística, visando principalmente o aumento de produção e adequação às normas internacionais. Pode-se afirmar também, que na realidade atual, a exportação não é o caminho a ser seguido. As empresas devem manter o foco no mercado interno, que absorve inteiramente a produção, garantindo subsídio para que o negócio se sustente e cresça futuramente, para só então almejar a exportação.

Além disso, foi possível perceber que não existe um relacionamento entre as empresas produtoras. Ou seja, cada uma trabalha por si, visando seu próprio desenvolvimento e não o fortalecimento do setor no estado.

Quando se trata das características do produto, segundo os entrevistados, os clientes não fazem questão de um laudo de qualidade do produto final. O interesse é apenas sobre o poder calorífico do material e o teor de cinzas, que está relacionado à produção de resíduos e, conseqüentemente, à frequência em que a caldeira (queimador) deverá ser limpa. Porém, é comum a realização da análise do produto final por parte das empresas produtoras de pellets, principalmente se há problemas durante a queima ou troca de fornecedor de matéria-prima, por exemplo. Além disso, segundo um dos entrevistados, a empresa faz questão de ter um laudo de qualidade em mãos, sendo possível atestar a qualidade do seu produto ao futuro comprador. Geralmente, a empresa envia seu material para análise em universidades ou empresas que atuem nesta área. Os principais testes realizados são de caracterização energética e física, como poder calorífico, teor de cinzas, teor de voláteis, teor de carbono fixo, massa específica básica e teor de umidade.

No Brasil, a produção de pellets não possui nenhuma regulamentação, não existe um selo de qualidade, por exemplo. As três empresas consideram que a criação de uma normatização seria algo positivo, principalmente no que diz respeito às classes de qualidade do produto final. De acordo com um dos entrevistados, existem fornecedores de pellets que oferecem um preço de venda melhor, mas a qualidade é inferior e o cliente, sem ter muito conhecimento, acaba comprando.

A pesquisa com os produtores de compactados destaca ainda que a falta de conhecimento sobre o pellet por parte da população em geral é grande. Muitas pessoas não sabem o que são pellets, do que são produzidos e qual a sua utilidade prática. Ou, em alguns casos, já tiveram contato com o produto, porém os resultados da utilização não foram satisfatórios, tendo em vista que o produto não era adequado ao uso ao qual se destinou. Esse fato é apontado pelos representantes das empresas como uma grande dificuldade para a expansão dos negócios e aumento do número de clientes.

1.4.3 Consumidor final: consumidores de compactados de biomassa (Categoria 4)

Nesta categoria foram identificados dois consumidores de briquetes e seis consumidores de pellets, sendo que em apenas um consumidor de pellet a visita foi negada, totalizando sete consumidores pesquisados.

Em relação aos pellets, as empresas foram pesquisadas em duas mesorregiões: vale do Itajaí (Blumenau), onde o pellet é utilizado industrialmente por duas empresas de galvanização; e serrana (Lages), onde ocorre o uso do pellet no setor de serviços em duas academias e uma pousada.

Todas estas empresas são clientes dos produtores de pellets mencionados na categoria anterior e apenas uma delas já comprou pellet produzido no Rio Grande do Sul. O preço

pago varia de R\$450 – R\$500 por tonelada, principalmente em função do transporte, visto que a área de comercialização do pellet também é influenciada pela distância de transporte. Sendo assim, os consumidores preferem comprar dos produtores próximos para ter garantia de um preço mais acessível. O preço de venda do pellet de serragem catarinense está de acordo com o preço encontrado para o Brasil durante levantamento da Embrapa Agroenergia (2012), que ficou entre R\$ 430 – R\$550 por tonelada.

Os equipamentos utilizados para a queima do produto são nacionais (produzidos em Santa Catarina) ou importados, são totalmente digitais e automatizados. Em alguns locais visitados, havia mais de uma caldeira para queima em função da demanda da empresa.

A quantidade utilizada por mês varia conforme a empresa e o ramo de atuação. Nas academias, onde o pellet é utilizado para aquecimento da água das piscinas e banheiros, são utilizadas de 2 – 3 toneladas por mês no verão e de 4 – 10 toneladas por mês no inverno. No setor hoteleiro, como a pousada pesquisada, onde o pellet é empregado no aquecimento de água para cozinha, banheiros e quartos, o consumo varia de acordo com número de hóspedes, sendo em torno de cinco toneladas ao mês. Já no setor industrial, em uma das empresas de galvanização, o consumo chega a 20 toneladas ao mês, pois são três turnos trabalhando continuamente por seis dias na semana, e diariamente são aquecidos 14 mil litros de água e soluções químicas.

A obtenção de energia utilizando pellets é muito recente, por esse motivo as empresas utilizavam outras formas de energia anteriormente, como GLP, energia elétrica, óleo diesel e lenha. Após a mudança para pellets, todos os entrevistados afirmaram que houve economia, chegando a ser 20% mais econômico que o GLP, de acordo com uma proprietária de academia.

Além da economia em comparação com diferentes fontes de energia, outras vantagens foram destacadas, como por exemplo: necessidade de abastecimento do silo uma ou duas vezes ao dia dependendo da demanda, caldeiras menores em relação às que utilizam GLP como fonte de energia, menos fumaça e menos sujeira em relação à lenha. Como desvantagem, foi citada a necessidade de limpeza da caldeira, que é realizada todos os dias ou de 15 em 15 dias, conforme a demanda do local, o que não é necessário com o uso do gás, por exemplo.

Ainda de acordo com os entrevistados, não existe dificuldade para a aquisição do produto. Um deles destaca que é importante trabalhar com mais fornecedores, para melhorar os preços e não depender de apenas uma fonte de entrega do produto.

Para os próximos anos, três dos entrevistados disseram que pretendem expandir seus negócios e a demanda pelo produto tende a aumentar consideravelmente.

Em relação aos briquetes, foram aplicados dois questionários em empresas do ramo alimentício, mais especificamente panificadoras. As duas estão localizadas na cidade de Lages, mesorregião serrana do estado. O briquete é utilizado nos fornos para cocção de alimentos e em alguns casos é misturado com a lenha. De acordo com um dos entrevistados, a combinação de lenha e briquete é o ideal, pois a lenha pega fogo mais rapidamente e o briquete mantém esse fogo por mais tempo.

Os briquetes são comprados diretamente com o produtor ou em lojas de material de construção que vendem este tipo de produto, chamado muitas vezes de carvão ecológico. De acordo com os entrevistados, a origem do produto é catarinense e existe dificuldade para a aquisição, pois são poucos fornecedores na região. O preço pago pela tonelada varia entre R\$500 – R\$530, e em média são utilizadas de 2 – 3 toneladas ao mês em cada um dos estabelecimentos pesquisados.

Segundo os entrevistados, em comparação com a lenha, o briquete gera menos sujeira no local de queima, principalmente pelo produto ser de tamanho uniforme e ser adquirido em embalagens apropriadas. Já em comparação com o gás, a sujeira é maior.

1.4.4 Ambiente organizacional: entidades representativas do setor (Categoria 5)

Nesta categoria foram reunidas empresas que atuam no setor realizando análises químicas relacionadas à qualidade do produto e matéria-prima, sindicatos e associações que representam o setor.

Uma das empresas que participou do estudo atua na área de análises tecnológicas da madeira e está situada na mesorregião serrana do estado. As análises mais solicitadas são de teor de umidade, teor de cinzas, poder calorífico e densidade. Além disso, são requeridos ensaios de briquetagem, que tem por objetivo avaliar se é possível compactar determinado material. Em alguns casos, existe a necessidade de realizar as análises em outro local pela falta de equipamentos.

Os principais materiais analisados são: cavaco de madeira, serragem, bagaço de coco, fibra de coco e bagaço de cana-de-açúcar. A demanda pelos ensaios tecnológicos parte, principalmente, das empresas fabricantes de equipamentos e empresas que produzem resíduos que podem ser utilizados para geração de energia. Os principais clientes estão localizados no sudeste, sul e norte do Brasil.

No âmbito estadual, a FAPESC – Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina apoia estudos na área de compactação. O projeto mencionado anteriormente, denominado “Compactados de biomassa para a geração de energia: acompanhamento da cadeia produtiva para a implantação de um Centro Avançado de Estudos em SC e normatização de produtos”, ao qual esta dissertação faz parte,

foi aprovado no ano de 2012 na categoria de demanda espontânea da FAPESC. Isto mostra o empenho do governo estadual em fomentar os estudos na área de utilização de biomassa para geração de energia e evidencia a importância que este tema tem tido nos últimos tempos.

O projeto acima citado tem como proponentes duas universidades: a UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina e a UNIPLAC – Universidade do Planalto Catarinense. Estas duas instituições promovem estudos na área de tecnologia da madeira, principalmente no que diz respeito as análises tecnológicas de compactados, painéis de madeira e carvão vegetal.

Na esfera nacional, a Embrapa Agroenergia tem mostrado grande comprometimento nos estudos na área de compactados. A Embrapa Agroenergia é uma instituição que atua na pesquisa, desenvolvimento e inovação de processos de conversão da biomassa em biocombustíveis e diversos outros produtos que agreguem valor às cadeias produtivas da agroenergia no Brasil e promovam a sustentabilidade (EMBRAPA, 2014).

Dessa forma, em 2012, publicou um estudo denominado “Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais” (DIAS *et al.*, 2012), que abrangeu vários aspectos importantes, como a disponibilidade de matéria-prima no Brasil para produção de compactados, características dos pellets e briquetes e perspectivas e recomendações para a consolidação do setor. Por estes motivos, este estudo já foi citado em alguns momentos no presente trabalho e contribuiu de forma bastante positiva para o entendimento de algumas questões que ocorrem no estado.

1.4.5 Ambiente institucional: leis e normas (Categoria 6)

O ambiente institucional está relacionado com a legislação que pode influenciar as diversas atividades

relacionadas à cadeia produtiva de compactados. No que diz respeito à produção dos compactados, não existem nenhuma legislação ou norma vigente no Brasil. Porém, vários países europeus, como Alemanha, Suécia, Áustria e Itália, possuem suas próprias instruções normativas em relação à qualidade dos pellets. Os Estados Unidos também possuem suas próprias normas para este quesito.

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010), institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos e tem influencia direta no contexto de reutilização dos resíduos. De acordo com esta lei, o resíduo sólido é qualquer material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder. Podem-se destacar os seguintes objetivos da lei: a) a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; b) o incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados e c) a articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos.

1.4.6 Aspectos importantes sobre a cadeia produtiva de compactados em Santa Catarina

A partir das respostas obtidas através dos questionários aplicados, foi possível realizar uma análise estratégica da cadeia produtiva de compactados em Santa Catarina, determinando os pontos fortes e fracos, como também as ameaças e oportunidades, conforme quadro 1.1.

Quadro 1.1 – Avaliação geral da cadeia produtiva de compactados em Santa Catarina.

<p style="text-align: center;"><u>PONTOS FRACOS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Cadeia produtiva com formação recente e ainda desestruturada; <ul style="list-style-type: none"> - Ausência de uma rede de informações entre todos os segmentos da cadeia produtiva; - Falta de equipamentos adequados para a peletização de resíduos de biomassa; <ul style="list-style-type: none"> - Baixa produtividade em consequência da alta necessidade de manutenção dos equipamentos; - Inexistência de contratos entre os produtores de compactados e fornecedores de matéria-prima para garantia de entrega. 	<p style="text-align: center;"><u>PONTOS FORTES</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Melhoria da qualidade energética dos compactados em relação ao material original; <ul style="list-style-type: none"> - Facilidade de estocagem e manuseio do produto compactado; - Economia em relação a outras fontes de energia, como elétrica e gás.
<p style="text-align: center;"><u>AMEAÇAS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Ausência de legislação para produção de compactados (pellets e briquetes); - Falta de incentivo governamental para aumento da demanda por compactados; <ul style="list-style-type: none"> - Carência de laboratórios especializados para a realização de análises químicas, físicas e energéticas dos produtos; - Desconhecimento por parte da população sobre as diversas formas de utilização dos compactados; - Falta de interação entre e dentro dos segmentos da cadeia produtiva de compactados; - Uso de um único tipo de biomassa para compactação (maravalha); <ul style="list-style-type: none"> - Dependência de um ou poucos fornecedores de matéria-prima. 	<p style="text-align: center;"><u>OPORTUNIDADES</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Incentivo a busca de fontes alternativas de energia no país como um todo; - Diversidade de aplicação dos produtos compactados: uso no setor industrial, setor de serviços e doméstico; - Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010); - O mercado interno de pequenos usuários (em relação à quantidade consumida mensalmente) tem potencial de crescimento.

Fonte: Autora (2014).

É possível afirmar que, embora as vantagens do uso da biomassa compactada para geração de energia sejam evidentes, o mercado para este produto em Santa Catarina ainda é desestruturado e desorganizado. Devido a sua formação recente, ainda não existe uma rede de informações concretas interligando quem fornece matéria-prima, quem produz e quem compra o compactado.

Castro *et al.* (2002b) trazem um conceito de cadeia produtiva incompleta ao analisarem os diferentes tipos de cadeias produtivas. Segundo os autores, quando está ausente um ou mais elos de uma cadeia produtiva ela é considerada incompleta. Na sua forma mais simples, poderia ser uma cadeia produtiva composta por elos de produção agrícola e pelos consumidores, adquirindo o produto diretamente dos produtores. Nesse caso, pode-se considerar que o negócio em torno do produto da cadeia produtiva incompleta está em fase de formação.

Dessa forma, a cadeia produtiva de compactados em Santa Catarina pode ser considerada incompleta, visto que as próprias empresas produtoras realizam a distribuição ao consumidor final na maioria das vezes, tal como exemplifica Castro *et al.* (2002b). Isto corrobora a ideia de que o mercado para este produto no estado ainda está em formação, demonstrando necessidade de maior estruturação e organização.

Os equipamentos utilizados no processo de peletização não são adequados ao tipo de matéria-prima empregada (maravalha) e as empresas não possuem uma escala de produção que permita diminuir os custos, deixando de oferecer ao cliente um preço de venda mais atraente. Além disso, a falta de contratos específicos (formais) entre as empresas produtoras de compactados e as fornecedoras de matéria-prima pode acarretar em um risco muito grande, que é a falta de material para a produção dos compactados.

Apesar de realizar e incentivar estudos na área, o governo ainda deixa a desejar no que diz respeito a atitudes concretas para aumentar a demanda por estes produtos, o que se caracteriza como uma ameaça ao setor. Segundo Gentil (2008), há necessidade de políticas de apoio para aumentar a qualidade e a demanda por briquetes e péletes, notadamente no que se refere ao âmbito regulatório (definição de um marco legal para a produção e consumo, apoio à criação de associações de classe), tecnológico (estabelecimento de padrões de qualidade, modernização dos equipamentos existentes, criação de laboratórios), da comercialização dos produtos (expansão em novos mercados, diferenciação de produtos, consolidação de marcas e selos).

A falta de interação entre e dentro dos segmentos também é considerada uma ameaça ao crescimento e desenvolvimento do setor. É fundamental que as empresas, principalmente as produtoras de compactados, criem algum elo para intercâmbio de experiências, sejam elas positivas ou negativas. A troca de informações permite que os mesmos erros não sejam cometidos novamente, impulsionando de forma positiva o desenvolvimento e expansão do setor no estado. Além disso, depende destas empresas evidenciar as qualidades do produto compactado, promovendo o conhecimento das mesmas por parte da população em geral e futuros usuários deste tipo de energia.

O uso de apenas um tipo de resíduo para compactação (maravalha) também configura uma ameaça ao setor, pois desta forma os produtores de compactados ficam dependentes de um ou poucos fornecedores. Para crescimento e desenvolvimento do setor, é necessário ampliar a base de fornecimento para não depender de uma única matéria-prima, tanto em relação ao tipo de biomassa quanto ao número de fornecedores.

O crescente incentivo pela busca de fontes alternativas de energia que sejam menos poluentes, motivado principalmente pelo apelo ambiental, é considerado uma oportunidade para o

setor. A biomassa residual possui características que a enquadram como uma alternativa ambientalmente correta, pois além de ser renovável, possibilita a destinação apropriada dos resíduos florestais, agrícolas e agroindustriais. Este fato está diretamente relacionado com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que objetiva a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos.

A diversidade de aplicação dos produtos compactados é também uma oportunidade para expansão do setor, principalmente no que diz respeito ao número de usuários deste tipo de produto. Os compactados podem ser empregados no setor industrial e de serviços, como também no uso doméstico para aquecimento dos ambientes, como já ocorre em países europeus.

Atualmente, o mercado interno de pequenos usuários absorve toda a produção de pellets catarinense. Estes pequenos usuários se caracterizam por consumir de 2 a 10 toneladas de pellets por mês e a venda do produto para os 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.

1.5 CONCLUSÃO

- A cadeia produtiva de compactados (pellets e briquetes) tem sua formação recente em Santa Catarina e ainda é desestruturada;
- Esta cadeia é composta pelos fornecedores de matéria-prima e de equipamentos para compactação, produtores de compactados (pellets e briquetes), consumidores de compactados e entidades representativas do setor;

- A falta de interação entre os segmentos é evidente e prejudica o crescimento e desenvolvimento da cadeia produtiva;
- Os equipamentos utilizados para a peletização não são específicos para a biomassa;
- As empresas produtoras de pellets pesquisadas possuem baixa escala de produção;
- A matéria-prima utilizada para produção de pellets é proveniente de serrarias, sendo resíduos de *Pinus* spp. com teor de umidade entre 8 e 10%;
- Os consumidores relataram que existe economia no uso de pellets ou briquetes quando comparado com outras fontes de energia;
- O mercado interno absorve inteiramente a produção catarinense de pellets;
- Para exportação do produto é necessário aumento da produção e adequação às normas internacionais;
- Existe a necessidade de investimento para aumento da demanda pelos compactados e para a implantação de laboratórios para realização de análises específicas;
- A ampla diversidade de utilização dos compactados é uma ótima oportunidade para expansão da cadeia produtiva.

1.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATALHA, M. O.; SILVA, A. L. da. Gerenciamento de sistemas agroindustriais: definições e correntes metodológicas. In: BATALHA, M. O. (Coord.). **Gestão Agroindustrial**. São Paulo: Atlas, 2001, p. 23-63.

BRAND, M. A.; COSTA, V. J. Geração de energia: o futuro da biomassa florestal. In: BINOTTO, E. **Tecnologia e processos agroindustriais**. 1 ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2007.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 22 abr 2014.

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.

CASTRO, A. M. G. de. Cadeia produtiva e prospecção tecnológica como ferramenta para a gestão da competitividade. In: SIMPÓSIO DE GESTÃO DA INOVAÇÃO tecnológica, 22. Salvador, 2002. **Anais...** São Paulo, FEA/USP, 2002.

CASTRO, A. M. G. de; LIMA, S. M. V.; CRISTO, C. M. P. N. Cadeia produtiva: marco conceitual para apoiar a prospecção tecnológica. In: SIMPÓSIO DE GESTÃO DA INOVAÇÃO tecnológica, 22. Salvador, 2002. **Anais...** São Paulo, FEA/USP, 2002a.

CASTRO, A. M. G. de; LIMA, S. M. V.; HOEFLICH, V. A. **Cadeias produtivas**. Curitiba: TECPAR/SENAR/LED-UFSC, 2002b.

DEMIRBAS, A.; SAHIN-DELMIBAS, A.; DEMIRBAS, A. H. Briquetting properties of biomass waste materials. **Energy Sources**, Philadelphia, v. 26, n. 1, p. 83-91, 2004.

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

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Apresentação da Embrapa Agroenergia**. Disponível em <https://www.embrapa.br/agroenergia/apresentacao>. Acesso em 11/06/2014.

FERREIRA, G. C.; PADULA, A. D. Gerenciamento de cadeias de suprimento: novas formas de organização na cadeia de carne bovina do Rio Grande do Sul. **Revista RAC**, v. 6, n. 2, p. 167-184, 2002.

GENTIL, L. V. **Tecnologia e economia do briquete de madeira**. 2008. 196 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade de Brasília, Brasília, DF.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa das mesorregiões do estado de Santa Catarina**. Disponível em <http://www.baixarmapas.com.br/mapa-de-santa-catarina-mesorregioes/>. Acesso em 25/02/2014.

MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing**. São Paulo: Atlas, 2006.

SILVA, E. P.; JOSEPH, L. C. R.; PEREIRA, B. D.; ZAVALA, A. Identificação e mapeamento de arranjos produtivos locais como estratégia para o desenvolvimento no estado de Mato Grosso: uma análise comparativa baseada nos dados da RAIS de 2004 e 2007. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 47. Mato Grosso, 2009. **Anais...** Porto Alegre, 2009.

SIMIONI, F. J. **Análise diagnóstica e prospectiva da cadeia produtiva de energia de biomassa de origem florestal no planalto sul de Santa Catarina**. 2007. 131 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SIMIONI, F. J.; HOEFLICH, V. A. Abordagens teóricas para análise do agronegócio. In. BINOTTO, E. **Tecnologia e processos agroindustriais**. 1 ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2007.

SIMIONI, F. J.; BINOTTO, E.; NÉRI, A. C.; SIQUEIRA, E. S. Reflexões a respeito do conceito de cadeia produtiva no agronegócio florestal. In. BINOTTO, E. **Tecnologia e processos agroindustriais**. 1 ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2007.

PACHECO, F. Energias Renováveis: breves conceitos. **Revista Conjuntura e Planejamento**. Salvador, n. 149, p. 4-11, 2006.

ZYLBERSTAJN, D. Conceitos gerais, evolução e apresentação do sistema agroindustrial. In: ZYLBERSTAJN, D., NEVES, M. F. (Orgs.). **Economia e gestão dos negócios agroalimentares**: indústria de alimentos, indústria de insumos, produção agropecuária, distribuição. São Paulo: Pioneira, 2000, p. 01-21.

1.7 ANEXOS

1 – Questionário para empresas produtoras de equipamentos para compactação (briquetadeiras e peletizadoras) de Santa Catarina:

Nome da empresa:

Entrevistado:

Cargo/função:

1 – Localização geográfica da empresa:

1.1 Ano de fundação da empresa

1.2 Atividade de origem

1.3 Início das atividades na área de compactação

2 – Área de abrangência de atuação da empresa em termos de clientes atendidos e demandas de pedidos de orçamentos;

2.1 Qual o número de orçamentos mensais?

2.2 Dentro da área de compactação: quais os tipos de produtos ou projetos mais solicitados em orçamentos?

2.3 Qual o número de orçamentos que se revertem em compra?

2.4 Dentro da área de compactação: quais os tipos de produtos ou projetos mais solicitados em compra?

2.5 Qual o número de clientes atuais da empresa (entre 2012 e 2013)?

2.6 Qual a localização dos clientes (regional, nacional e internacional)?

3 – Em relação às especificações técnicas dos equipamentos produzidos pela empresa:

3.1 Qual a capacidade produção?

3.2 Qual o custo de produção dos equipamentos?

3.3 Qual o preço de venda dos equipamentos?

3.4 Qual a matéria-prima a que se destina?

3.5 Qual o peso ou área de ocupação (dimensões)?

3.6 Qual o nível de automação?

3.7 Qual a necessidade de mão de obra (número de pessoas para operar o equipamento?)

3.8 Há necessidade de capacitação (treinamento) da mão de obra? A empresa disponibiliza esta capacitação?

3.9 Qual o tipo da assistência técnica pós-venda dada pela empresa (reposição de peças e assistência técnica de pessoal)?

4 – Geralmente, qual o tipo de matéria prima para a qual os clientes solicitam os projetos da empresa (separar regionalmente)?

5 – Há existência de concorrência de outras empresas no mercado (localização da concorrência e tipo de concorrência)?

6 – Relação de clientes que já adquiriram os equipamentos da empresa e sua localização geográfica (histórico de clientes):

7 – Quais as principais dificuldades encontradas no setor de compactados?

8 – Quais as perspectivas de crescimento de empresa e do setor?

2 – Questionário para empresas produtoras de briquetes e pellets em Santa Catarina

Nome da empresa:

Entrevistado:

Cargo/função:

1 – Localização geográfica da empresa:

1.1 Ano de fundação da empresa

1.2 Atividade de origem

1.3 Início das atividades na área de compactação

2 – Qual a origem dos equipamentos utilizados na empresa (peletizadoras ou briquetadeiras)? Local de fabricação, marcas, modelos, ano de fabricação, data de aquisição e tempo de funcionamento na empresa.

2.1 Quais as vantagens dos equipamentos utilizados no processo em comparação com outros conhecidos no mercado?

2.2 Quais as desvantagens dos equipamentos utilizados no processo em comparação com outros conhecidos no mercado?

3 – Em relação à matéria-prima (biomassa) usada para a produção dos compactados:

3.1 Quais os tipos utilizados pela empresa?

3.2 Quem são os fornecedores e onde estão localizados?

3.3 Qual a quantidade de biomassa utilizada por mês para a produção de compactados?

3.4 Qual o preço pago por cada tipo de biomassa?

4 – Quanto ao tratamento dado à biomassa antes da compactação, qual tipo de preparação é feita na matéria-prima antes da compactação? (Secagem, moagem, etc).

5 – Quanto ao controle de qualidade da matéria-prima:

5.1 Quais os tipos de análises que são feitas na biomassa antes da compactação? (Teor de umidade, poder calorífico, teor de cinzas).

5.2 Onde as análises são feitas?

6 – Qual o custo de produção dos compactados? (nesta questão o entrevistado terá a opção de escolher se os dados fornecidos devem ou não permanecer em sigilo). No caso de publicação os dados absolutos serão convertidos em dados percentuais para não perderem o caráter estratégico.

6.1 Qual a quantidade produzida de compactados mensalmente na empresa?

7 – Qual o preço de venda dos produtos (não serão publicados valores individuais de empresas)?

7.1 Qual a forma de comercialização (granel, em embalagens, tamanho da embalagem)?

7.2 Qual o tipo de venda? Ocorre a venda direta ao consumidor ou de forma indireta, através de centros de distribuição?

7.3 Quais as clientes exigem laudos de qualidade do produto final (compactado)?

8 – Em relação aos clientes:

8.1 Quem são os clientes? São clientes que utilizam o produto para uso doméstico, serviços (academias, pizzarias, hotéis, etc) ou indústrias?

8.2 Qual o número de clientes fixos e variáveis da empresa?

8.3 Qual a localização dos clientes (regiões, cidades e estados, país)?

9 – O produto tem algum tipo de certificação?

9.1 A empresa acha importante a existência de uma certificação de qualidade do produto?

10 – Quais as dificuldades encontradas pela empresa no setor de compactados?

11 – Quais as perspectivas de crescimento da empresa e do setor?

12 – A equipe do projeto gostaria de coletar amostras da matéria-prima para testes de qualidade. É possível? Observação: para cada empresa produtora de compactados que concordar em ceder amostras do seu produto, será fornecido gratuitamente um laudo de qualidade do produto, assinado pela professora coordenadora do projeto.

3 – Questionário para os consumidores dos pellets e briquetes produzidos no estado de Santa Catarina:

Nome da empresa:

Entrevistado:

Cargo/função:

1 – Qual a localização geográfica da empresa?

2 – Qual o tipo de produto utilizado (pellets ou briquetes)?

3 – Qual o tipo de utilização do produto? Ex: sistemas de aquecimento, cocção de alimentos, processos industriais, etc.

4 – Em relação aos fornecedores:

4.1 Qual o fornecedor do produto (pellets ou briquetes)?

4.2 Qual o fornecedor dos equipamentos utilizados para queima do produto?

5 – Qual o preço pago pelo produto (pellets ou briquetes)? E qual a quantidade consumida por mês?

6 – Existem dificuldades para aquisição do produto?

7 – Comparado com outras fontes de energia, quais as vantagens e desvantagens?

8 – Existe alguma perspectiva para ampliação de uso dos compactados? Como por exemplo, redimensionar queimadores e aquecedores, aumentando o consumo do produto?

9 – A equipe do projeto gostaria de coletar amostras da matéria-prima para testes de qualidade. É possível? Observação: para cada consumidor de compactados que concordar em ceder amostras do produto utilizado, será fornecido gratuitamente um laudo de qualidade do produto, assinado pela professora coordenadora do projeto.

4 – Questionário para os fornecedores ou potenciais fornecedores da matéria-prima para as indústrias produtoras de pellets e briquetes em Santa Catarina

Nome da empresa:

Entrevistado:

Cargo/função:

1 – Localização geográfica da empresa:

2 – Qual o tipo de matéria-prima produzida e/ou fornecida?

3 – Qual a localização da produção da matéria-prima?

4 – Qual a quantidade produzida e quantidade disponível para fornecimento para produção de produtos compactados?

5 – Quais os clientes que já utilizam essa matéria-prima e onde estão localizados?

6 – Os clientes fazem alguma exigência em termos de qualidade e quantidade de matéria-prima?

7 – Qual o preço de venda?

8 – A equipe do projeto gostaria de coletar amostras da matéria-prima para testes de qualidade. É possível? Observação: para cada empresa fornecedora de matéria-prima que concordar com a coleta de amostras para os testes, será fornecido gratuitamente um laudo de qualidade da matéria-prima, assinado pela professora coordenadora do projeto.

5 – Questionário para empresas ou instituições que fazem análises dos produtos e matérias-primas utilizados no setor de compactados em Santa Catarina

Empresa/Instituição:

Entrevistado:

Cargo/função:

- 1 – Quais os tipos de matérias-primas analisadas?
- 2 – Quais os testes usualmente realizados?
- 3 – Existe a necessidade de mandar realizar análises em outros lugares por falta de equipamentos?
- 4 – Quais os tipos de clientes atendidos (produtores de matéria-prima; produtores de equipamentos; produtores de compactados; consumidores dos compactados)?
- 5 – Qual a localização dos demandadores dos serviços?

6 - Questionário para instituições públicas que estão envolvidas no setor de compactados, no estado de Santa Catarina

Empresa/Instituição:

Entrevistado:

Cargo/função:

- 1 – A instituição tem algum projeto na área de compactados? Quais as ameaças e oportunidades?
- 2 – Qual a relação da Instituição com o setor ou atores do setor de compactados?
- 3 – Quais os clientes já atendidos do setor? A Instituição já ofereceu algum serviço de consultoria na área? Qual a localização e tipo de demanda desses clientes?
- 4 – A Instituição está envolvida ou conhece algum tipo de articulação política existente ou futura para o fomento do crescimento do setor?
- 5 – Quais são as políticas públicas necessárias para o crescimento e organização do setor de compactados?

2 LEVANTAMENTO DO POTENCIAL DE BIOMASSA RESIDUAL AGRÍCOLA E FLORESTAL PARA A PRODUÇÃO DE COMPACTADOS PARA ENERGIA NO ESTADO DE SANTA CATARINA

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi determinar o potencial de biomassa residual florestal e agrícola para produção de compactados no estado de Santa Catarina, dividido em seis mesorregiões. O estudo envolveu dados da produção anual agrícola e florestal do ano de 2012. Para determinar a quantidade de resíduos agrícolas (culturas temporárias e perenes) ou florestais (silvicultura) gerado por cada cultura foi utilizado um valor denominado coeficiente técnico encontrado na literatura. Foram abordados três critérios para discussão dos dados: quantidade de resíduos, localização dos resíduos e disponibilidade para uso. As mesorregiões oeste catarinense, norte catarinense e serrana, são as que mais produziram resíduos em 2012; e por esse motivo detêm grande potencial para a geração de energia através da biomassa residual. A cultura de milho foi a que gerou a maior quantidade de resíduos em 2012, seguida da silvicultura, cultura de arroz e de soja. Os resíduos das culturas perenes já são reaproveitados em outras áreas e não demonstram potencial para o uso na geração de energia. Como conclusão, é possível afirmar que são necessários estudos mais aprofundados, principalmente no que diz respeito à quantificação exata dos resíduos e disponibilidade dos mesmos para o uso na geração de energia.

Palavras-chave: energia de biomassa, resíduos de colheita, potencial energético.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the potential of agricultural and forest biomass for densification for energy production in Santa Catarina, Brazil. For that, the state of Santa Catarina was divided into six regions. The study involved data from annual agricultural and forestry production in the year of 2012. To determine the amount of agricultural – from temporary and perennial crops - and forest residues generated by each culture a value called technical coefficient, found in the literature, was used. Three standards were used for the discussion of the data: amount of waste, waste location and availability for use. The southern, the western and the mountain region are the regions that produced more waste in 2012, therefore they hold a great potential for power generation through biomass waste. The corn crop generated the biggest amount of waste in 2012, followed by forestry, upland rice and soybeans. The residues of perennial crops are already reused in other areas and they don't show any potential for power generation. In conclusion, it is clear that further studies are needed particularly the ones related to the exact quantification of waste and availability of that waste to be used in power generation.

Key-words: biomass energy, crop residues, energy potential.

2.1 INTRODUÇÃO

O termo biomassa tem ampla abrangência de tipos de materiais, pois engloba todos os vegetais formados através do processo de fotossíntese como também os resíduos gerados a partir da utilização dos mesmos, tais como resíduos florestais e agrícolas; matéria orgânica contida nos resíduos industriais, domésticos, comerciais e rurais (BRAND, 2010).

A biomassa florestal pode ser entendida como resíduos de plantios florestais, de serrarias de beneficiamento da madeira, indústrias de papel e celulose, fabricação de painéis, dentre outras. Já a biomassa agrícola engloba culturas que também produzem resíduos com potencial energético, como por exemplo, casca de arroz e palha de milho.

Nos processos produtivos agrícolas e florestais, a geração de resíduos se torna um desperdício de produção, visto que estes nem sempre são convertidos em uma nova fonte de renda para as empresas produtoras. Estes resíduos, em muitos casos, são mal manejados, sendo depositados em locais impróprios, como margens de rios. Esta má destinação final gera problemas ambientais graves, como o assoreamento de rios, a erosão de encostas e a diminuição da biodiversidade local.

Segundo Brand (2007), vantagens ambientais quando há a utilização de fontes energéticas renováveis em comparação com recursos não renováveis explica a relevância do interesse por parte de empresas, o apoio governamental e a expansão atual do uso deste tipo de fonte energética. Além disso, o uso de resíduos florestais e agrícolas para a geração de energia é uma fonte limpa de combustível e atraente economicamente, pois é complementação de renda tanto para quem vende quanto para quem compra e beneficia o resíduo.

Como o Brasil é um dos maiores produtores agrícolas e florestais do mundo, a quantidade de biomassa residual representa um depósito de energia que pode ser aproveitado, especialmente na forma de briquetes e pellets (DIAS *et al.*, 2012). O processo de fabricação de briquetes e pellets consiste na compactação da biomassa residual em equipamentos específicos. O processo também é conhecido como densificação, pois através da pressão aplicada e temperatura gerada pelo atrito entre as partículas e o equipamento, a densidade do produto final aumenta e o teor de umidade diminui.

No primeiro capítulo deste trabalho, cujo um dos objetivos foi analisar a estruturação da cadeia produtiva de compactados de biomassa residual em Santa Catarina, foram levantadas várias ameaças em relação ao desenvolvimento e crescimento do setor. O uso de apenas um único tipo de biomassa (maravalha) para produção de compactados e a dependência de poucos fornecedores deste resíduo fazem com que as ameaças inerentes à matéria-prima sejam prioridades, visto que esta representa aproximadamente 70% do total do custo de produção. Dessa maneira, é clara a necessidade de estudos que busquem ampliar o conhecimento sobre os diferentes tipos de resíduos que podem ser empregados em processos de compactação.

Para definir se é possível utilizar biomassa residual florestal e agrícola para a produção de compactados (briquetes e pellets) para a geração de energia, é necessário quantificar e qualificar os diferentes tipos de resíduos gerados em um determinado local. Além disso, devem ser observadas a disponibilidade e localização destes resíduos. Sendo assim, um estudo sobre uso de resíduos de biomassa para geração de energia deve levar em conta estes quatro principais aspectos: quantidade, qualidade, disponibilidade e localização.

Dessa maneira, o objetivo deste trabalho foi determinar o potencial de biomassa residual florestal e agrícola para produção de compactados no estado de Santa Catarina.

2.2 REVISÃO DE LITERATURA

A biomassa é uma fonte renovável de produção de energia em escala suficiente para desempenhar um papel expressivo no desenvolvimento de programas vitais de energias renováveis e na criação de uma sociedade ecologicamente mais consciente. Embora seja uma fonte de energia primitiva, seu amplo potencial ainda precisa ser explorado (ROSILLO-CALLE *et al.*, 2005).

Fontes renováveis são aquelas cuja reposição pela natureza é bem mais rápida do que sua utilização energética, como as águas dos rios, mares, sol, ventos; ou cujo manejo pelo homem pode ser efetuado de forma compatível com as necessidades de sua utilização energética, como a biomassa (BRAND, 2010).

A biomassa, geralmente e de forma errônea, é tida como um combustível inferior e raramente é incluída nas estatísticas energéticas, quando, na verdade, deveria ser considerada uma fonte renovável e equivalente aos combustíveis fósseis. Ela oferece flexibilidade, pois tem várias aplicações e pode ser usada na produção de diversos combustíveis. Os resíduos industriais, agrícolas e florestais podem ser usados como fontes de biomassa ou podem ser cultivados plantios energéticos especificamente para serem convertidos em energia (HALL *et al.*, 2005).

Dessa forma, a biomassa é considerada uma fonte alternativa de energia atraente tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico, tendo em vista que muitas vezes são utilizados resíduos de processos produtivos para a transformação em energia. Ou seja, além de dar um destino correto aos resíduos, é possível agregar valor comercial a estes materiais, que são comumente denominados de biomassa residual.

Além disso, atualmente a existência de legislação referente a passivos ambientais exige a gestão adequada dos resíduos. A Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), que reúne um conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal objetivando a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos. Ou seja, existe a necessidade de um destino correto para os resíduos, fazendo com que os produtores e empresas envolvidas busquem

alternativas de utilização deste tipo de material, como a transformação em energia.

O Brasil é um país onde o agronegócio participa ativamente da economia. A região sul contribui significativamente para a produção agrícola do país, sendo a região que mais produz arroz em casca e a segunda em relação às produções de soja e milho em grãos. Em relação à produção de madeira em tora a região sul é a primeira, representando 42,82% do total brasileiro (IBGE, 2014).

Dentro da região sul, o estado de Santa Catarina merece destaque. Sua economia é bastante diversificada e está organizada em vários polos distribuídos por diferentes regiões do Estado. A diversidade de climas, paisagens e relevos estimula o desenvolvimento de inúmeras atividades, atraindo investidores de segmentos distintos e permitindo que a riqueza não fique concentrada em apenas uma área (SANTA CATARINA, 2014). No território são desenvolvidas atividades econômicas no ramo da indústria, extrativismo (animal, vegetal e mineral), agricultura, pecuária, pesca, turismo, o que caracteriza Santa Catarina como o quinto Estado mais rico do país (ECONOMIA, 2014).

A produção de milho em grãos, soja em grãos e arroz em casa de Santa Catarina representa, respectivamente, 4,03%, 1,64% e 9,50% da produção nacional. Em relação à região sul, a produção catarinense representa 12,71%, 6,01% e 12,24%, respectivamente. Para a silvicultura, a produção de madeira em toras do estado representa 14,78% da produção nacional e 34,51% da produção da região sul (IBGE, 2014).

Dessa forma, é gerada uma grande quantidade de biomassa residual no estado, tanto no campo após a colheita, como nas indústrias de transformação depois do beneficiamento. Os resíduos provenientes do setor agrícola são pouco utilizados para geração de energia, sendo o mais corriqueiro a queima da casca de arroz em caldeiras para a secagem do próprio arroz. A biomassa residual proveniente do

setor florestal, como as maravalhas e cavacos, já é empregada na geração de energia térmica ou elétrica, através da queima direta ou da co-geração. Em menor quantidade são destinados à produção de compactados (pellets e briquetes).

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente levantamento foi realizado no Estado de Santa Catarina. Para melhor distribuição das variáveis, os dados foram agrupados nas seis mesorregiões do estado, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE: oeste catarinense, norte catarinense, sul catarinense, serrana, vale do Itajaí e grande Florianópolis. A Figura 2.1 apresenta a disposição das mesorregiões no território catarinense.

Figura 2.1 – Mesorregiões do estado de Santa Catarina



Fonte: IBGE (2014).

O estudo envolveu dados da produção anual agrícola e florestal, utilizando dados da produção para as culturas estudadas foram extraídos da base de dados agregados do

IBGE, denominada Produção Agrícola Municipal – PAM, do ano base 2012. As culturas cuja produção anual foi nula ou igual a zero foram desconsideradas (IBGE, 2014). Foram selecionadas culturas com produção igual ou superior a 5 toneladas/ano.

Para determinar a quantidade de resíduos agrícolas ou florestais gerado por cada cultura foi utilizado um valor denominado coeficiente técnico. Este coeficiente expressa a quantidade em toneladas de resíduos gerados em relação à quantidade do produto que é produzida e comercializada em cada cultura. Para uma gama de culturas não foram encontradas bibliografias que permitissem quantificar o montante de resíduos gerados (coeficiente técnico de resíduo).

Ressalta-se que o estudo possui caráter de apresentação do potencial total de resíduos, levando em consideração também aqueles que já possuem usos concorrentes ou que sua utilização possa ter impedimento de ordem operacional ou ambiental. Assim, foram consideradas todas as culturais anuais ou perenes, potencialmente produtoras de resíduos em alguma etapa do processo de colheita e/ou beneficiamento.

Não foram considerados os resíduos da agroindústria provenientes da avicultura e suinocultura. Isto porque, a cama de aviário possui altos teores de amônia, o que inviabiliza seu uso na fabricação de compactados para geração de energia. Em relação aos dejetos suínos, a produção de biogás já é uma atividade consolidada no Estado.

Para determinar se há possibilidade de implantação de uma unidade compactadora em determinada região, este estudo abordou três critérios, sendo eles: quantidade de resíduos, localização dos resíduos e disponibilidade para uso. A qualidade dos resíduos também é um critério importante, e será abordada no posteriormente.

Em relação à quantidade, não foi estabelecido um valor mínimo. A quantidade utilizada para a compactação dependerá do tamanho do investimento realizado e a quantidade de

produto final desejada. Este trabalho traz o potencial de geração de resíduos de cada mesorregião para cada cultura, servindo de base para futuros projetos na área.

No que diz respeito à localização, foi observado como o resíduo está distribuído pelas mesorregiões, se existe contato ou não entre elas. E para a disponibilidade foi observado se existe ou não algum impedimento técnico ou logístico para retirada do resíduo do seu local de produção.

Através da realização de um banco de dados no Excel com as variáveis pesquisadas (cultura, quantidade produzida, quantidade de resíduos gerados) e uso do software ArcGIS 10.1, elaborou-se um mapa cartográfico, em tons de cinza, que representa a quantidade e distribuição dos resíduos nas mesorregiões do Estado. No mapa, o tom de cinza mais escuro representa a mesorregião com maior geração de resíduos naquela cultura, e o tom mais claro representa a menor geração de resíduos. Ou seja, a intensidade da cor vai diminuindo conforme diminui a quantidade de resíduos.

A Tabela 2.1 apresenta as fontes agrícolas e florestais, tipo de resíduo, local de produção e coeficientes técnicos dos resíduos analisados neste trabalho.

Tabela 2.1 – Produtos, tipo, local de produção e coeficiente técnico dos resíduos levantados.

Produto	Tipo de resíduo	Local de produção	Coeficiente técnico (tonelada de resíduo/tonelada de produto)
Amendoim	Palhada e cascas	Campo e Indústria	1,07 ¹
Arroz	Palhada	Campo	1,30 ²
	Cascas	Indústria	0,22 ²
Cana-de-açúcar	Palha e Ponteira	Campo	0,24 ¹
	Bagaço	Indústria	0,27 ²
Feijão	Palhada e vagem	Campo	3,67 ¹
Milho	Palhada	Campo	2,50 ²
	Sabugo	Indústria	0,60 ²
Soja	Palhada	Campo	1,40 ¹
Trigo	Palhada	Campo	1,40 ²
Banana (cacho)	Folhas	Campo	1,50 ¹
	Pseudocaule	Campo	2,50 ¹
	Engaço	Indústria	0,12 ¹
Maçã	Bagaço	Indústria	0,25 ¹
Laranja	Cascas	Indústria	0,50 ³
Uva	Cascas e sementes	Indústria	0,40 ³
Erva mate	NE	Indústria	0,45 ¹
Abacate	Cascas e caroços	Indústria	0,34 ¹
Madeira	Ponteira, galhos e cascas	Campo	0,15 ³
	Serragem, cascas e cavacos	Indústria	0,50 ⁴

Fonte: ¹ABIB (2011), ²Dias *et al.* (2012), ³Schneider *et al.* (2012) e ⁴CENBIO (2012).

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.4.1 Caracterização das mesorregiões catarinenses

O estado de Santa Catarina é dividido em seis mesorregiões, como mencionado anteriormente. Cada mesorregião possui suas próprias características, destacando-se em determinada atividade econômica. De acordo com Fachinello e Santos Filho (2010), as principais características de cada mesorregião estão destacadas a seguir:

- Oeste catarinense: as principais cidades localizadas nesta mesorregião são Chapecó, Joaçaba, Concórdia, São Miguel do Oeste, Campos Novos e Xanxerê. Esta mesorregião é considerada a principal região agrícola do Estado, concentrando 50% da produção agropecuária, com forte predominância da pequena propriedade. Destacam-se a produção animal e a lavoura temporária e dentre os principais produtos estão aves, suínos, milho, soja e maçã.

- Norte catarinense: as principais cidades localizadas nesta região são Joinville, Jaraguá do Sul, São Bento do Sul, Mafra, Rio Negrinho e Porto União. Caracteriza-se por ser uma região com estrutura fundiária diversificada, tendo a presença de grandes, médios e pequenos estabelecimentos agrícolas. As principais atividades econômicas deste setor na região são: pecuária extensiva, pecuária leiteira, arroz, hortaliças, fruticultura e silvicultura.

- Serrana: os principais municípios localizados nesta mesorregião são Lages, São Joaquim, Urubici, Alfredo Wagner, Urupema e Bom Retiro. A mesorregião Serrana caracteriza-se por ser formada de médias e grandes propriedades agrícolas e, por muitos anos, teve a pecuária extensiva e o extrativismo madeireiro como base de sua economia. Porém, o reflorestamento ganhou importante espaço nos últimos anos, principalmente por fornecer matéria-prima para a indústria local de papel e celulose e móveis. A produção

agrícola também está presente, através da produção de soja, alho e maçã.

- Vale do Itajaí: nesta mesorregião os principais municípios são Blumenau, Itajaí, Brusque, Rio do Sul, Indaial e Timbó. A produção na região está voltada, para o fumo, arroz, cebola, banana, madeira e leite, visto que a agricultura fornece seus produtos para serem beneficiados pelas empresas agroindustriais localizadas nesta região.

- Grande Florianópolis: as principais cidades desta mesorregião são Florianópolis, São José, Biguaçu, Angelina, Antônio Carlos e Anitápolis. A região da Grande Florianópolis é a que menos participa da agropecuária do Estado, pois sua economia está voltada para outras atividades, principalmente a prestação de serviços. Porém, existem municípios em que existe produção agropecuária voltada para a cultura de banana, laranja, uva, cebola, fumo, tomate e também produção de leite.

- Sul catarinense: nesta região as cidades que se destacam são Criciúma, Tubarão, Laguna, Turvo, Meleiro e Urussanga. Nesta mesorregião a estrutura fundiária é mais equitativa, com agricultura mais direcionada para culturas temporárias e de produtos de origem animal, sendo os principais produtos agrícolas: fumo, arroz, frutíferas em geral, mandioca e ovos.

2.4.2 Análise dos principais resíduos gerados pelos setores florestal e agrícola em Santa Catarina

2.4.2.1 Silvicultura e culturas temporárias

A Tabela 2.2 apresenta a quantidade de resíduos e sua distribuição em relação às mesorregiões de Santa Catarina, para a silvicultura e as culturas temporárias mais importantes do Estado, em termos de produção de resíduos. Ressalta-se que estas foram as culturas que apresentaram produção anual, em

2012, igual ou superior a 5 toneladas/ano e que possuíam o valor do coeficiente técnico na literatura.

Tabela 2.2 – Quantidade e localização regional dos resíduos da silvicultura e culturas temporárias em Santa Catarina (em mil toneladas) no ano de 2012.

Mesorregião	Oeste	Norte	Serrana	Vale Itajaí	Grande Fpolis	Sul	Estado
Milho	4.387	1.912	1.491	670	110	325	8.898
Madeira	1.337	1.520	1.752	402	34	220	5.268
Arroz	1.400	232.502	520	354	60	1.018	1.667
Soja	727	431	344	8	-	-	1.511
Feijão	152	58	159	21	7	26	424
Cana-de-açúcar	111	24	-	23	26	68	245
Trigo	122	35	36	580*	-	-	195
Amendoim	450*	-	-	-	-	-	450*
Total	6.914	4.172	3.811	1.474	238	1.649	18.260

Nota: Os valores apresentados são arredondados. Os valores marcados com (*) são apresentados em toneladas. Fonte: Autora (2014).

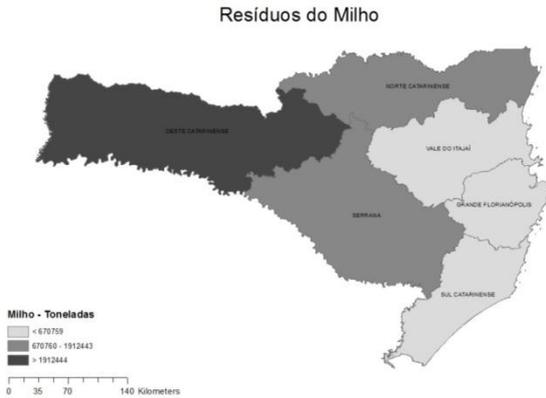
- Milho:

A produção catarinense de milho, em 2012, segundo dados da PAM (IBGE, 2014) foi de 2.870.450 toneladas, representando 12,7% do total produzido na região Sul e pouco mais de 4% do total no país.

Para a estimativa da produção de resíduos da cultura do milho, utilizou-se o coeficiente técnico proposto por Dias *et al.* (2012), de 2,50 para a palhada em campo e 0,60 para os resíduos agroindustriais (sabugos), obtendo-se 7.176.125 toneladas e 1.722.270 toneladas, respectivamente. Totalizando 8.898.395 toneladas de resíduos resultantes da cultura e processamento do milho em Santa Catarina.

Vale destacar a mesorregião oeste como a maior produtora de resíduos da cultura do milho, com 4.387.219 toneladas geradas em 2012, seguida da mesorregião norte (1.912.443 toneladas) e serrana (1.491.506 toneladas), conforme representado na figura 2.2.

Figura 2.2 – Mapa ilustrando a disposição dos resíduos da cultura do milho nas mesorregiões de Santa Catarina em 2012.



Fonte: Autora (2014).

Considerando a questão quantidade, o milho é a cultura mais expressiva em relação à produção de resíduos de todo o Estado, totalizando aproximadamente 8,9 milhões de toneladas geradas em 2012. Pode-se afirmar que esta cultura possui viabilidade para uso na compactação, no que tange a quantidade de resíduos gerada. É importante observar, ainda, que as mesorregiões contribuem de forma diferente, umas mais expressivamente do que outras. Além disso, as épocas do ano em que este resíduo está disponível em maior quantidade também devem ser consideradas em estudos mais aprofundados.

Com relação à localização, as três regiões com maior expressão na produção de milho e conseqüentemente na de resíduos, são regiões contíguas. Esta proximidade facilitaria a

questão de transporte do material para uso em unidades de compactação. Esse fato também deve ser levado em consideração para escolha de um possível local para instalação destas unidades. Ou ainda, seria possível a instalação de pequenas unidades em cada uma das mesorregiões, visto que todas possuem quantidades expressivas de resíduos para a utilização na compactação.

Em se tratando da disponibilidade de uso do material, segundo Dias *et al.* (2012), aconselha-se a manutenção de pelo menos 50% dos resíduos do milho no campo para ciclagem de nutrientes e da matéria orgânica do solo, restando os outros 50% que podem ser aproveitados para geração de energia.

Sendo assim, pode-se afirmar que a disponibilidade para o uso dos resíduos da cultura do milho em cada mesorregião é um dos principais fatores que devem ser analisados, visto que está diretamente ligada à quantidade disponível para a compactação. É válido salientar, que a empresa produtora de compactados precisa de garantia para o recebimento de matéria-prima, que irá garantir a sua escala de produção. Caso contrário, sem o principal insumo, o negócio não irá se sustentar e não justificará o investimento inicial.

- Madeira:

No levantamento da Silvicultura realizado pelo IBGE, são encontradas quatro destinações dadas aos produtos da silvicultura do estado, os quais são carvão vegetal, lenha, madeira em tora para papel e celulose e madeira em tora para outras finalidades. Para fins de cálculos foram consideradas apenas essas duas últimas destinações da madeira. Segundo Centro Nacional de Referência em Biomassa - CENBIO (2012) são considerados resíduos da silvicultura aqueles restantes da colheita florestal, com coeficiente técnico 0,15 e, aqueles restantes do processamento da madeira nas indústrias, com coeficiente técnico 0,50. Para a produção de madeira em toras para papel e celulose, foram considerados apenas os resíduos

da colheita florestal, uma vez que as toras são convertidas para o processo de celulose integralmente.

Os dados de ano base 2012 do IBGE (2014) apresentam uma produção de 13.252.026 toneladas de madeira em tora, sendo que 50 % foram destinadas à produção de papel e celulose e 50 % para finalidades diversas.

A produção de resíduos da silvicultura foi de 5.268.425 toneladas, dos quais, 61,55 % são resíduos do processamento industrial da madeira totalizando 3.280.622 toneladas (só indústria 63%). Já a fase de colheita florestal gerou um montante de 1.987.804 toneladas de resíduos (celulose e outras finalidades 37%), que englobam folhas, acículas, galhos e ponteira do tronco das árvores.

A figura 2.3 apresenta a disposição regional dos resíduos da silvicultura no estado de Santa Catarina. Observa-se que a mesorregião serrana concentra grande parte de resíduos de madeira do estado, totalizando aproximadamente 1.752.700 toneladas, seguida da mesorregião norte com 1.520.399 toneladas e, oeste com 1.337.924 toneladas de resíduos madeireiros e florestais. Somadas essas três mesorregiões representam em torno de 88 % destes resíduos no estado. A partir disso, é possível afirmar que as três mesorregiões possuem grande potencial em relação à quantidade para a utilização dos resíduos para compactação.

Em relação à localização, as regiões com maior produção são vizinhas, facilitando o transporte de material quando houver necessidade.

Quando se trata da disponibilidade para o uso deste material, o setor florestal possui uma estrutura mais organizada em relação às outras culturas abordadas neste estudo, principalmente no que diz respeito à coleta, venda e utilização dos resíduos gerados. Já existe um comércio estabelecido no estado, principalmente para maravalha e cavacos. Algumas empresas até se especializaram na compra de resíduos provenientes de diferentes fornecedores e no tratamento

adequado deste material, com o objetivo de vender para empresas que utilizam biomassa como fonte de energia ou para empresas fabricantes de compactados.

Figura 2.3 – Mapa ilustrando a disposição dos resíduos da silvicultura no estado de Santa Catarina em 2012.



Fonte: Autora (2014).

A base florestal catarinense é basicamente formada por espécies do gênero *Pinus*. Apesar da qualidade não ter sido avaliada neste estudo, tradicionalmente o gênero *Pinus* é utilizado para a produção de compactados para a geração de energia. Quirino *et al.* (2005), ao analisarem o poder calorífico superior do *Pinus* sp., destacaram que para a madeira com casca esta variável chega a 4.978 Kcal/Kg.

Além disso, no capítulo 1 deste trabalho, foram encontradas três empresas no Estado que produzem pellets (compactados de pequeno diâmetro que substituem os cavacos), sendo que todas utilizam maravalha de *Pinus* spp. e obtém um produto final de ótima qualidade.

De maneira geral, pode-se afirmar que os resíduos provenientes da silvicultura já são muito utilizados para a geração de energia na forma de compactados. Dias *et al.* (2012), afirmam que grande parte dos briquetes atualmente

produzida no Brasil é proveniente de resíduos de madeira, como cavacos, tocos, maravalhas, serragem e outros.

- Arroz:

Dados da PAM (IBGE, 2014) apresentam que a produção de arroz em Santa Catarina foi de 1.097.212 toneladas, a qual gera resíduos na fase de colheita, restando palhada no campo com coeficiente técnico 1,30, e na fase de beneficiamento restando cascas e rejeitos, com coeficiente técnico 0,22 (DIAS *et al.*, 2012). Desta forma, em 2012 foram produzidas 1.667.762 toneladas de resíduos oriundos da orizicultura, sendo aproximadamente 14,5 % por cascas de arroz e 85,5 % pela palhada em campo.

A produção de arroz ocorre em todas as regiões do estado, sendo que a mesorregião sul catarinense apresenta a maior produção de resíduos, aproximadamente 61 % (1.018.268 toneladas) do total do estado, seguida da mesorregião vale do Itajaí, com aproximadamente 21, 3% (354.801 toneladas), conforme figura 2.4. A região que menos contribui para a quantidade de resíduos é a serrana, com apenas 520 toneladas, em torno de 0,03% do total. No quesito quantidade disponível, os resíduos da cultura de arroz são indicados para o uso na compactação, principalmente na mesorregião sul, que representa mais da metade da quantidade de resíduos gerados no Estado.

Em relação à localização da produção dos resíduos, percebe-se que a mesorregião que mais produz está distante das outras duas com maior potencial de resíduos disponível. Este fato não impede o uso para compactação, porém pode dificultar o transporte de material, caso haja necessidade.

Na questão de disponibilidade para uso, deve-se analisar a palhada de arroz e casca de arroz separadamente, pois possuem características singulares.

Figura 2.4 – Mapa ilustrando a distribuição dos resíduos da cultura do arroz nas mesorregiões de Santa Catarina em 2012.



Fonte: Autora (2014).

No que diz respeito à palhada, de acordo com Bazzo *et al.* (2013), atualmente há legislação que proíbe a realização de queimadas da palha no campo, após a colheita do arroz. Diante disso, os agricultores passaram a incorporar a palha ao solo, com o objetivo de facilitar a sua decomposição. Porém, este processo gera gás metano, que é considerado mais prejudicial do que o dióxido de carbono gerado na queima. Dessa maneira, torna-se necessário dar a este resíduo uma destinação correta e menos poluente, sendo a compactação uma ótima alternativa do ponto de vista da quantidade de palha de arroz gerada.

A casca de arroz já tem seu uso consolidado, sendo empregada para gerar energia de forma direta para secagem do próprio grão. De acordo com Mayer *et al.* (2006), além da queima direta para geração de energia na própria beneficiadora, a briquetagem das cascas seria uma forma eficiente do aproveitamento dessa energia, por ganhos de densidade do produto final, que causa aumento de até 2,5 vezes o poder calorífico.

Após a queima da casca nas caldeiras, é gerado um subproduto, denominado cinza de casca de arroz. Até o

momento, não existem estudos usando este resíduo para a geração de energia, seu uso está basicamente relacionado ao teor de sílica. Segundo Della *et al.* (2001), este subproduto é rico em sílica (teores superiores a 90%), que pode ser usada como componente principal de massas cerâmicas para a produção de refratários silicosos ácidos.

- Soja:

A produção de soja no estado de Santa Catarina foi de 1.079.690 toneladas no ano de 2012, de acordo com o PAM (IBGE, 2014). Este valor corresponde a 6% da produção da região Sul do Brasil e aproximadamente 1,63% do total da produção brasileira.

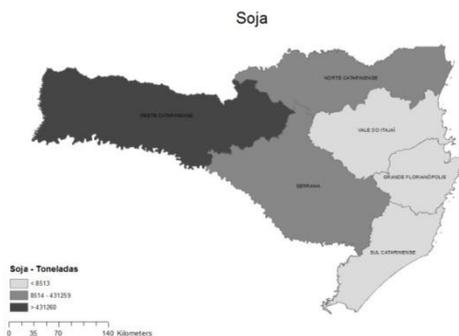
O resíduo proveniente da produção de soja é a palhada que fica no campo após a colheita. De acordo com o coeficiente técnico proposto pela ABIB (2011), que é de 1,40, o estado produziu em 2012 aproximadamente 1.511.566 toneladas de palhada.

A produção de soja está presente em quatro das seis mesorregiões do estado, sendo que a região oeste contribuiu mais significativamente para o montante de resíduos gerados, em torno de 730 mil toneladas. A região norte ocupa a segunda colocação, com aproximadamente 430 mil toneladas, seguida da região serrana com 345 mil toneladas e vale do Itajaí com 8 mil toneladas, de acordo com a figura 2.5.

Mesmo não estando presente em todo o Estado, a cultura de soja produz uma quantidade de resíduos razoável. Além disso, as três mesorregiões que mais produzem estão localizadas próximas, facilitando o transporte de matéria-prima entre elas.

Em relação à disponibilidade, da mesma forma como ocorre com a cultura do milho, é indicado que metade dos resíduos permaneça no campo para a ciclagem de nutrientes.

Figura 2.5 – Mapa ilustrando a distribuição dos resíduos da cultura da soja nas mesorregiões de Santa Catarina em 2012.



Fonte: Autora (2014).

- Feijão, cana-de-açúcar, trigo e amendoim:

No total para o Estado, os resíduos de feijão, cana-de-açúcar, trigo e amendoim somaram 424.689 toneladas, 254.515 toneladas, 195.182 toneladas e 450 toneladas ano de 2012, respectivamente. A quantidade disponível de resíduos destas culturas é inferior às demais já avaliadas neste estudo. Dessa maneira, com base somente neste aspecto, não é indicado o uso destas culturas para compactação.

2.4.2.2 Culturas permanentes

A Tabela 2.3 apresenta a quantidade de resíduos e sua distribuição em relação às mesorregiões de Santa Catarina, para as culturas perenes mais importantes do Estado, em termos de produção de resíduos. As culturas abaixo apresentaram produção anual, em 2012, igual ou superior a 5 toneladas/ano e que possuíam o valor do coeficiente técnico na literatura.

Tabela 2.3 – Quantidade e localização regional dos resíduos de culturas permanentes em Santa Catarina (em mil toneladas) no ano de 2012.

Mesorregião	Oeste	Norte	Serrana	Vale Itajaí	Grande Fpolis	Sul	Estado
Banana	2	1.562	-	889	42	265	2.761
Maçã	36	2	125	107	-	25	164
Laranja	19	343*	313*	4	2	3	30
Uva	10	140*	653*	600*	548*	708*	12
Abacate	5*	-	-	-	5*	-	10*
Total	68	1.565	126	894	45	269	2.969

Nota: Os valores apresentados são arredondados. Os valores marcados com (*) são apresentados em toneladas. Fonte: Autora (2014).

As culturas permanentes levantadas neste estudo são cinco espécies de frutíferas e produziram um total 2.969.760 toneladas de resíduos no ano de 2012. Apesar de o valor total ser expressivo, os resíduos destas culturas já possuem outros usos consolidados, como artesanato, suplementação animal e compostagem. Além disso, outro fator que inviabiliza o uso destes resíduos para geração de energia é o alto grau de umidade. Em um estudo realizado recentemente pelo Schneider *et al.* (2012), os resíduos da banana, laranja e uva não foram avaliados para uso energético por apresentarem outros usos e já serem largamente utilizados como insumos para outros produtos.

2.4.3 Resíduos agrícolas e florestais como fonte de energia

Os resíduos provenientes das atividades agrícolas têm um grande potencial de utilização para a produção de pellets. No entanto, a sua baixa densidade, dificuldades no seu recolhimento e a incerteza na quantificação dos resíduos disponíveis são fatores negativos nesta abordagem. Além disso, é necessário ressaltar alguns problemas técnicos na sua transformação. Por exemplo, a necessidade de a biomassa estar sem a presença de contaminantes, como terra ou outras

sujidades que possam danificar os componentes de produção (CARVALHO *et al.*, 2013).

Com base nisso, tornam-se necessários estudos mais específicos para uso dos resíduos agrícolas na geração de energia na forma de compactados. Ainda existem lacunas que precisam ser preenchidas, principalmente no que diz respeito à quantificação mais precisa e métodos específicos para recolhimento dos resíduos no campo para cada tipo de cultura agrícola. Ao mesmo tempo, deve-se criar um procedimento eficaz para o tratamento deste material, antes de entrar no processo de compactação, para minimizar danos aos equipamentos utilizados.

Em contrapartida, a utilização dos resíduos gerados pela silvicultura é mais comum no contexto energético catarinense. Carvalho *et al.* (2013), afirmam que a biomassa florestal como fonte de produção de calor é hoje em dia utilizada majoritariamente na indústria, que aumentou a sua utilização na última década, ao contrário do setor doméstico, que a reduziu.

Como dito anteriormente, no setor florestal já existe um comércio de resíduos estabelecido, facilitando principalmente questões de transporte e de oferta de matéria-prima para os produtores de compactados. Os resíduos florestais ganharam valor no mercado energético nas últimas décadas, devido a sua qualidade e também versatilidade, podendo ser utilizado de diferentes formas para a geração de energia.

2.5 CONCLUSÃO

- Santa Catarina é um grande produtor de resíduos agrícolas e florestais;
- As mesorregiões oeste catarinense, norte catarinense e serrana, são as que mais produziram resíduos em 2012; e por esse motivo detêm grande potencial para a geração de energia através da biomassa residual;

- A cultura de milho foi a que gerou a maior quantidade de resíduos em 2012, seguida da silvicultura, cultura de arroz e de soja;
- Os resíduos das culturas perenes já são reaproveitados em outras áreas, não demonstrando potencial para o uso na geração de energia;
- São necessários estudos mais aprofundados, principalmente no que diz respeito à quantificação exata dos resíduos e disponibilidade dos mesmos para o uso na geração de energia.

2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIB. Associação Brasileira de Indústrias de Biomassa. **Brasil biomassa e energia renovável**. 2011. Disponível em <http://pt.calameo.com/read/000200968cc3a949579a0>. Acesso em: 18 abr 2014.

BAZZO, E.; BZUNECK, M.; MIYAKE, R. G.; RESTREPO, A.; KLEVESTON, F.; CANESCHI, M. D.; FELIPPE, L.; GOMES, E. R.; DALSSASSO, C. H. Resultados da utilização de palha de arroz em processo de co-firing com carvão pulverizado. In: Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 7, 2013, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...**

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 114 p.

BRAND, M. A.; **Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem**. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) Universidade Federal do Paraná. Curitiba: UFPR, 2007.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da**

República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 ago. 2010. Disponível em:http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 22 abr 2014.

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.

CENBIO. Centro Nacional de Referência em Biomassa. **Atlas de bioenergia do Brasil**. São Paulo, 2012.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. **Revista Quim. Nova**, vol. 24, n. 6, p. 778-782, 2001.

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

ECONOMIA de Santa Catarina. Disponível em <http://www.brasile scola.com/brasil/economia-santa-catarina.htm>. Acesso em 22/04/2014.

FACHINELLO, A. L.; SANTOS FILHO, J. I. **Agricultura e agroindústria catarinenses: panorama, impasses e perspectivas do sistema agropecuário**. In: MATTEI, L.; LINS, H.N. A socioeconomia catarinense – cenários e perspectivas no início do século XXI. Chapecó: Ed. Argos, 2010, p. 159-196.

HALL, D. O.; HOUSE, J. I.; SCRASE, I. Visão geral de energia de biomassa. In: ROSILLO-CALLE, F.; BAJAY, S.

V.; ROTHMAN, H. (Org). **Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira**. Campinas: Ed. da UNICAMP, 2005. P. 25-67.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal 2012 e Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2012**. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp?o=27&i=P>. Acesso em 25/02/2014.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 89, p. 100-106, 2005.

MAYER, F. D.; HOFFMANN, R.; RUPPENTHAL, J. E. Gestão energética, econômica e ambiental do resíduo casca de arroz em pequenas e médias agroindústrias de arroz. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13., 2006, Bauru, SP. **Anais...** Bauru: UNESP, 2006.

ROSILLO-CALLE, F.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. **Uso da biomassa para a produção de energia na indústria brasileira**. Campinas: Ed. da UNICAMP, 2005. 447p.

SANTA CATARINA. **Economia de Santa Catarina é rica e diversificada**. Disponível em: <http://www.sc.gov.br/index.php/economia>. Acesso em: 22/04/2014.

SCHNEIDER, V. E. *et al.* **Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agrossilvipastoril e agroindústrias associadas**. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2011.

3 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E ENERGÉTICAS DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS E FLORESTAIS ENCONTRADOS NO ESTADO DE SANTA CATARINA

RESUMO

O objetivo deste capítulo foi determinar as propriedades físicas e energéticas dos principais resíduos agrícolas e florestais encontrados em Santa Catarina, em relação à quantidade produzida no ano de 2012. Os resíduos agrícolas analisados foram casca de arroz, palha de arroz, palha de soja, palha de milho e sabugo de milho. Os resíduos florestais foram maravalha de *Pinus* spp., maravalha de *Eucalyptus* spp. e mistura de maravalha de *Pinus* spp. e *Araucaria angustifolia*. As propriedades físicas e energéticas analisadas foram massa específica básica, teor de umidade na base úmida, teor de cinzas, porcentagem de carbono fixo e porcentagem de voláteis através da análise imediata e poder calorífico superior. Também foi calculado o poder calorífico líquido, densidade de carbono fixo, densidade energética superior e líquida. De maneira geral, os resíduos provenientes do setor florestal apresentaram os valores mais adequados em se tratando do uso para geração de energia, principalmente no que diz respeito ao teor de umidade, teor de cinzas e poder calorífico superior e líquido. Porém, os resíduos do setor agrícola, especialmente o sabugo de milho e a casca de arroz em alguns critérios, também tem um potencial energético que pode ser explorado. Os resíduos de casca e palha de arroz, palha de soja, palha e sabugo de milho apresentaram valores de poder calorífico superior e líquido que devem levados em consideração para sua possível utilização para geração de energia. Pode-se concluir, então, que os resíduos florestais e agrícolas avaliados neste estudo possuem potencial para uso na geração de energia, exceto as cinzas de casca de arroz.

Palavras-chave: qualidade energética, energia de biomassa, biomassa residual.

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the physical and energetic properties of the major agricultural and forestry residues found in Santa Catarina, in relation to the amount produced in 2012. Agricultural residues analyzed were rice husk, rice straw, soybean straw, corn stover and corn cobs. Forest residues were shavings of *Pinus* spp., shavings of *Eucalyptus* spp. and mixture of shavings of *Pinus* spp. and *Araucaria angustifolia*. The physical and energetic properties analyzed were basic density, moisture, ash content, fixed carbon percentage and percentage of volatile by immediate analysis and superior calorific power. The liquid calorific power, fixed carbon density, higher and liquid energy density was also calculated. In general, the residues from the forest sector showed the most interest in the case of its use for energy generation, especially with regard to moisture content, ash content and superior calorific power. However, residues of agriculture, especially corn on the cob and rice husk on some criteria, also have an energy potential that can be exploited. Residues of rice husk, rice straw, soybean straw and corn cobs had higher values of superior and liquid calorific power and should be considered for their possible use for power generation. It is possible to conclude that forest and agricultural residues evaluated in this study have potential for use in power generation, except rice husk ash.

Key-words: quality energy, biomass energy, waste biomass.

3.1 INTRODUÇÃO

A utilização dos resíduos provenientes do setor agrícola e florestal para a geração de energia é uma ótima alternativa para correta destinação destes materiais. Além de serem renováveis, estes resíduos são produzidos em grande quantidade no Brasil e possuem amplo potencial para a geração de energia. De acordo com Carvalho *et al.* (2013), a valorização dos recursos energéticos, particularmente os de matriz renovável, constitui um dos principais objetivos da política energética mundial, que busca minimizar a dependência energética e diminuir a emissão de poluentes.

No capítulo 2, que teve por objetivo determinar o potencial de biomassa residual florestal e agrícola para produção de compactados no estado de Santa Catarina, verificou-se que o estado produz uma grande quantidade destes tipos de resíduos, evidenciando um grande potencial a ser explorado. As culturas que mais se destacaram em relação à quantidade produzida, no ano de 2012, foram a do milho, silvicultura, do arroz e da soja.

Ainda no capítulo anterior, foram avaliados três dos quatro principais critérios que devem ser levados em consideração para implantação de um projeto de compactação, sendo eles: quantidade de resíduos, localização dos resíduos e disponibilidade para uso. Além destes, o quarto critério que deve ser analisado é a qualidade do resíduo.

A determinação da qualidade do resíduo envolve a análise de suas características físicas e energéticas, como teor de umidade e poder calorífico, e é de extrema importância quando se trata do seu uso para a geração de energia. Estas características determinam a melhor forma de utilizá-los neste processo e se há ou não necessidade de algum tratamento para melhorar a seu desempenho em relação a outras fontes energéticas.

Dessa forma, o objetivo deste capítulo foi determinar as propriedades físicas e energéticas dos principais resíduos agrícolas e florestais encontrados em Santa Catarina, em relação à quantidade produzida no ano de 2012.

3.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os estudos relacionados à biomassa residual como fonte de energia são recentes, principalmente no setor agrícola, onde o principal objeto de estudo têm sido os resíduos do setor sucroalcooleiro. No setor florestal, estes estudos são mais comuns, tendo as maravalhas, cavacos, resíduos de colheita e beneficiamento da madeira como fonte de informações.

A demanda por estudos nesta área cresce no mesmo ritmo da preocupação com o meio ambiente e problemas causados pela utilização de combustíveis fósseis, que estão cada vez mais escassos. Dessa maneira, as fontes de energia alternativa vêm ganhando força, sendo uma delas a biomassa. Segundo Coelho & Goldemberg (2003), a evolução do mercado das tecnologias de produção da energia a partir de biomassa está majoritariamente associada a aspectos ambientais, tanto no que diz respeito 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.

Para ampliar o uso da biomassa na geração de energia é necessário conhecer as suas propriedades físicas, químicas e energéticas. Segundo Brand (2010), a biomassa é um exemplo no qual as propriedades físicas e químicas têm influência direta sobre a viabilidade de uso do material como combustível. Além disso, a melhoria destas propriedades, sujeitas a manejo e tratamento, pode tornar a biomassa mais atrativa para sistemas de geração de energia, tornando-se competitiva com outros combustíveis, que a princípio teriam maior qualidade energética.

De acordo com Brand (2010), o poder calorífico é a propriedade mais importante para avaliar a viabilidade de uso de uma fonte na geração de energia, e para alguns combustíveis, esta é a principal propriedade levada em consideração. Isso porque o poder calorífico é a quantidade de calor total (energia térmica) que é liberado durante a combustão completa de uma unidade de massa ou de volume de combustível (kcal/kg ou kJ/kg; kcal/m³ ou kJ/m³).

O teor de umidade pode ser considerado uma das características mais relevantes ao se utilizar materiais lignocelulósicos para a geração de energia, tanto em processos termoquímicos, como a combustão e a pirólise, quanto em processos físicos, como a densificação para produção de pellets e briquetes, e biológicos, como a fermentação. Além desse fato, é necessário considerar que o poder calorífico dos materiais lignocelulósicos segue tendências inversamente proporcionais ao conteúdo de água presente nos mesmos (SOUZA *et al.*, 2012).

Além do teor de umidade, a composição química do material e o teor de cinzas também influenciam o poder calorífico da biomassa. Em relação à composição química, a variação das proporções de celulose, lignina, polioses e extrativos ou substâncias de reserva já determinam variação no potencial energético das plantas. No que diz respeito ao teor de cinzas, a presença de altos teores contribui para a redução do poder calorífico por unidade de massa, visto que os materiais minerais (cinzas) não participam do processo de combustão, mas são contabilizados na massa do combustível submetido ao processo de queima (BRAND, 2010).

A massa específica básica (ou densidade básica) expressa a quantidade de massa contida no material. Brand (2010) destaca que, em termos de uso da biomassa para a geração de energia, a densidade é importante principalmente quando se utiliza o conceito de poder calorífico volumétrico, para determinar o potencial energético por unidade de volume.

A relação entre estes dois parâmetros é linear, sendo que, de forma geral, quanto maior a massa específica básica, maior é o poder calorífico volumétrico.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

Os resíduos agrícolas analisados foram casca de arroz, palha de arroz, palha de soja, palha de milho e sabugo de milho. Os resíduos de palha (arroz, soja e milho) e sabugo de milho foram moídos em moinho de facas para redução da granulometria para as análises. Os resíduos florestais foram maravalha de *Pinus* spp. (4 amostras), maravalha de *Eucalyptus* spp. e mistura de maravalha de *Pinus* spp. e *Araucaria angustifolia*. Estes resíduos foram peneirados em peneira com abertura de 1,70 mm/μm para separar as partículas menores para as análises. Optou-se por analisar apenas o resíduo florestal na forma de maravalha, pois esta é o material utilizado pelos produtores de pellets de Santa Catarina, como visto no primeiro capítulo desta dissertação.

A coleta dos materiais ocorreu em diferentes cidades do estado, buscando abranger várias regiões. A tabela 3.1 mostra as características dos materiais coletados e analisados neste estudo.

Tabela 3.1 – Características dos materiais coletados e analisados.

Tipo de Resíduo	Local de coleta	Composição	Pré-tratamento
Maravalha <i>Pinus</i> spp. 1	Curitibanos	Maravalha	Peneiramento
Maravalha <i>Pinus</i> spp. 2	Curitibanos	Maravalha	Peneiramento
Maravalha <i>Pinus</i> spp. 3	Benedito Novo	Maravalha	Peneiramento
Maravalha <i>Pinus</i> spp. 4	Timbó	Maravalha	Peneiramento
Maravalha <i>Pinus</i> spp. e <i>Araucaria angustifolia</i>	Lages	Maravalha	Peneiramento
Maravalha <i>Eucalyptus</i> spp.	Timbó	Maravalha	Peneiramento
Casca de arroz	Rio dos Cedros	Casca <i>in natura</i>	Nenhum
Palhada de arroz	Rio dos Cedros	Palhada	Moagem
Palhada de soja	Agrolândia	Caule, folhas e grãos de soja residuais	Moagem
Palhada de milho	Ituporanga	Caule e folhas	Moagem
Sabugo de milho	Ituporanga	Sabugo	Moagem

Fonte: Autora (2014).

As propriedades físicas e energéticas analisadas foram massa específica básica, através da norma TAPPI T 258 om-11 (TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY, 2011), teor de umidade na base úmida determinado em balança determinadora de umidade através da Equação 1, teor de cinzas, porcentagem de carbono fixo e porcentagem de voláteis através da análise imediata em Termobalança Gravimétrica (TGA), conforme a norma ASTM 1762 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2007) e poder calorífico, de acordo com a norma DIN 51900 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2000).

(Equação 1)

$$TUbu = \frac{Pu - Ps}{Pu} * 100$$

Onde: TUbu: teor de umidade na base úmida, em %; Pu: peso úmido da amostra, em g; Ps: peso seco da amostra, em g.

Derivado do poder calorífico superior, o poder calorífico líquido foi obtido através da Equação 2. Para o cálculo foi utilizado também o poder calorífico inferior, que foi determinado a partir da Equação 3.

(Equação 2)

$$PCI = PCS - 324$$

Onde: PCI: poder calorífico inferior, em kcal/kg; PCS: poder calorífico superior, em kcal/kg.

(Equação 3)

$$PCL = PCI * \left[\frac{(100 - TUbu)}{100} \right] - (6 * TUbu)$$

Onde: PCL: poder calorífico líquido, em kcal/kg; PCI: poder calorífico inferior, em kcal/kg; TUbu: teor de umidade na base úmida, em %.

Também foram determinadas a densidade de carbono fixo (Equação 4) e densidade energética (Equação 5). Realizou-se o produto da massa específica básica e o carbono fixo, desta forma expressando a quantidade em massa de carbono fixo em cada material. A densidade energética foi obtida pelo produto da massa específica básica e poder calorífico (superior e líquido), que expressa a quantidade de energia disponível em uma unidade de volume de cada tipo de material.

(Equação 4)

$$DCF = MEB * \left(\frac{\% TCF}{100} \right)$$

Onde: DCF: densidade de carbono fixo, em kg/m³; MEB: massa específica básica, em kg m/m³; TCF: teor de carbono fixo, em %.

(Equação 5)

$$DE = \frac{MEB * PC}{1000}$$

Onde: DE: densidade energética (superior ou líquida), em Mcal/m³; MEB: massa específica básica, em kg/m³; PC: poder calorífico (superior ou líquido), kcal/kg.

Após a obtenção dos dados, realizou-se a análise estatística no programa Sisvar, através do Teste de Médias de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para teor de umidade na base úmida e massa específica básica estão dispostos na tabela 3.2.

Para a propriedade teor de umidade observa-se que o menor valor encontrado foi para a amostra 4, sendo estatisticamente a amostra 3. Ambas são compostas de resíduos de *Pinus* spp. Já o maior valor encontrado foi para amostra 8, composta de palha de arroz.

A média geral para o teor de umidade foi de 12,58%. Conforme os resultados do capítulo 1 deste trabalho, o ideal para utilização no processo de compactação é que a umidade do material esteja entre 12 – 15%. Dessa forma, os resíduos analisados estariam aptos para a compactação; sendo que alguns precisariam de uma leve umidificação antes do

processo. Com este teor de umidade, o resíduo também terá um bom desempenho em sistemas de queima direta.

Tabela 3.2 – Propriedades físicas dos resíduos analisados.

Tipo de Resíduo	Amostra	TUBu	MEB
Maravalha <i>Pinus</i> spp. 1	1	12,88 c	0,245 c
Maravalha <i>Pinus</i> spp. 2	2	11,89 e	0,200 e
Maravalha <i>Pinus</i> spp. 3	3	10,85 f	0,188 f
Maravalha <i>Pinus</i> spp. 4	4	10,68 f	0,222 d
Maravalha <i>Pinus</i> spp. e <i>Araucaria angustifolia</i>	5	12,35 d	0,242 c
Maravalha <i>Eucalyptus</i> spp.	6	12,82 c	0,178 g
Casca de arroz	7	11,67 e	0,316 a
Palhada de arroz	8	15,61 a	0,252 b
Palhada de soja	9	12,96 c	0,197 e
Palhada de milho	10	14,89 b	0,200 e
Sabugo de milho	11	11,77 e	0,251 b
Média geral	-	12,58	0,226
CV	-	1,30	1,27

Legenda: TUBu – teor de umidade na base úmida, em %; MEB – massa específica básica, em g/cm³; CV – coeficiente de variância, em %. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente para o teste de comparação de médias Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autora (2014).

Quirino *et al.* (2005) encontrou valores de teor de umidade de 10,5% e 12,9% para *Eucalyptus* spp. e *Pinus* spp., respectivamente. Os valores são muito próximos aos determinados neste estudo, onde para maravalha de *Eucalyptus* spp. o valor encontrado foi de 12,82% e a média para as 4 amostras de *Pinus* spp. foi de 11,57%.

Em um trabalho realizado com casca de arroz foi encontrado um teor de umidade de 12% (CIENTEC, 1986, citado por COELHO & GOLDEMBERG, 2003). Já Morais *et al.* (2006), encontraram um valor de 10,61% para o mesmo resíduo. Estes valores estão bem próximos ao valor obtido neste trabalho, que foi de 11,67%.

Em relação à massa específica básica, o menor valor encontrado foi para a amostra 6 (maravalha de *Eucalyptus* spp.) e o maior valor foi para a amostra 7 (casca de arroz). A média geral foi de 0,226 g/cm³. Dessa forma, os materiais analisados neste trabalho possuem MEB adequada para o uso na compactação.

Os valores obtidos na análise imediata e poder calorífico superior estão demonstrados na tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Propriedades energéticas dos resíduos analisados.

Tipo de Resíduo	Amostra	TC	TV	TCF	PCS
Maravalha <i>Pinus</i> spp. 1	1	0,338 h	84,436 a	15,176 b	4744 a
Maravalha <i>Pinus</i> spp. 2	2	0,248 h	83,214 a	16,538 a	4926 a
Maravalha <i>Pinus</i> spp. 3	3	0,847 g	84,154 a	14,999 b	4786 a
Maravalha <i>Pinus</i> spp. 4	4	0,313 h	81,741 b	17,946 a	4784 a
Maravalha <i>Pinus</i> spp. e <i>Araucaria angustifolia</i>	5	5,173 e	80,528 c	14,832 b	4748 a
Maravalha <i>Eucalyptus</i> spp.	6	0,171 h	84,457 a	15,372 b	4616 a
Casca de arroz	7	14,621 b	67,995 f	17,384 a	3130 d
Palhada de arroz	8	15,451 a	71,138 e	13,410 b	3970 c
Palhada de soja	9	8,938 c	76,862 d	14,200 b	4328 b
Palhada de milho	10	5,687 d	79,022 c	15,553 b	4218 b
Sabugo de milho	11	1,537 f	79,769 c	18,693 a	4405 b
Média geral	-	4,852	79,393	15,827	4423
CV	-	2,32	1,15	5,59	5,36

Legenda: TC – teor de cinzas, em %; TV – teor de voláteis, em %; TCF – teor de carbono fixo, em %; PCS – poder calorífico superior, em kcal/kg; CV – coeficiente de variância, em %. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente para o teste de comparação de médias Scott-Knott, ao nível de 5% de significância. Fonte: Autora (2014).

O maior valor para teor de cinzas foi observado para a amostra 8, composta por palha de arroz. O menor valor de teor de cinzas foi encontrado para a amostra 6, composta por *Eucalyptus* spp. Este valor não diferiu estatisticamente das amostras compostas por *Pinus* spp. (amostras 1, 2 e 4) e também da amostra 12, composta por sabugo de milho.

Para o teor de voláteis, o menor valor foi da amostra 7 (casca de arroz), devido principalmente ao valor elevado de teor de cinzas (que foi inferior apenas ao teor de cinzas da amostra 8). O maior valor foi da amostra 6 (*Eucalyptus* spp.), que não diferiu estatisticamente das amostras 1, 2 e 3 (*Pinus* spp.).

Completando a análise imediata, tem-se o teor de carbono fixo. O menor valor foi encontrado para a amostra 8 (palha de arroz), devido ao alto teor de cinzas, visto que estas três propriedades (TC, TV e TCF) devem somar 100%. O maior valor para teor de carbono fixo foi da amostra 12, composta pelo sabugo de milho. Esta amostra não diferiu estatisticamente das amostras 2 e 4, compostas por *Pinus* spp. e 7, que representa a casca de arroz.

Souza (2012), estudando cepilho de *Pinus taeda*, encontrou um valor de 0,3% para TC, 85,09% para TV e 14,01% para TCF. Para as 4 amostras de *Pinus* spp. avaliadas neste estudo, a média foi de 0,44% para TC, 83,39% para TV e 16,16% para TCF. Dessa forma, pode-se afirmar que os valores encontrados neste trabalho para esta espécie estão de acordo com a literatura.

Para a casca de arroz, Morais *et al.* (2006), obtiveram 23,84% para TC, 64,26% para TV e 11,90% para TCF. Para Cientec (1986), citado por Coelho e Goldemberg (2003), os valores encontrados foram de 18,60% para TC, 67,80% para TV e 13,60% para TCF. Os valores para TC foram superiores ao obtido neste estudo (14,62%), já os valores referentes ao TV e TCF foram inferiores aos deste estudo (67,99% e 17,38%, respectivamente).

Para o resíduo de sabugo de milho, foram encontrados na literatura valores de 1,36% para TC, 80,10% para TV e 18,54 TCF (BRAND, 2010). Estes valores são muito próximos aos encontrados neste trabalho.

Em relação ao poder calorífico superior, o menor valor foi observado para a amostra 7 (*Eucalyptus* spp.). Isto se deve ao fato do teor de cinzas elevado, que afeta diretamente o PCS, pois as cinzas são materiais que não queimam, são apenas resíduos da combustão. O maior valor foi da amostra 2 (*Pinus* spp.), que não diferiu estatisticamente das amostras 1, 3 e 4 (*Pinus* spp.), 5 (*Pinus* spp. e *A. angustifolia*) e 6 (*Eucalyptus* spp.).

Quirino *et al.* (2005), ao analisar o poder calorífico superior de vários materiais lignocelulósicos, determinou o valor de 4525 kcal/kg para *Eucalyptus* spp., 4720 kcal/kg para *Pinus* spp., 3730 kcal/kg para casca de arroz e 3570 kcal/kg para palha de milho. Os valores obtidos neste estudo foram superiores para palha de milho, *Pinus* spp. (considerando a média das amostras 1, 2, 3 e 4) e *Eucalyptus* spp. Já os valores encontrados para casca de arroz foram inferiores aos determinados pelos autores citados.

Gauthier (1986), citado por Couto *et al.* (2004), encontrou um PCS de 4000 kcal/kg para resíduos de milho, sem especificar se era palhada ou sabugo. Este valor está abaixo do encontrado neste estudo, tanto para palhada (4218 kcal/kg) quanto para sabugo (4405 kcal/kg).

Vale ressaltar que a amostra 12, composta por sabugo de milho, obteve o menor TC e maior PCS em relação aos demais resíduos agrícolas. Também obteve o maior TCF dentre todos os materiais analisados. É possível afirmar que este resíduo agrícola obteve os valores que mais se aproximaram dos valores obtidos pelos resíduos florestais de *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp., que são os mais utilizados para geração de energia atualmente.

A tabela 3.4 traz os valores do potencial energético de cada material analisado. A tabela inclui o poder calorífico líquido, densidade de carbono fixo, densidade energética superior e líquida.

Tabela 3.4 – Potencial energético dos resíduos analisados.

Tipo de Resíduo	Amostra	PCL	DCF	DES	DEL
Maravalha <i>Pinus</i> spp. 1	1	3773	37,18	1162	924
Maravalha <i>Pinus</i> spp. 2	2	3983	33,08	985	797
Maravalha <i>Pinus</i> spp. 3	3	3913	28,20	900	736
Maravalha <i>Pinus</i> spp. 4	4	3920	39,84	1062	870
Maravalha <i>Pinus</i> spp. e <i>Araucaria angustifolia</i>	5	3804	34,60	1149	920
Maravalha <i>Eucalyptus</i> spp.	6	3665	27,36	822	652
Casca de arroz	7	2409	54,93	989	761
Palhada de arroz	8	2983	33,87	1000	752
Palhada de soja	9	3421	27,97	853	674
Palhada de milho	10	3225	30,58	844	645
Sabugo de milho	11	3530	47,36	1106	886

Legenda: PCL – poder calorífico líquido, em kcal/kg; DCF – densidade de carbono fixo, em kg/m³; DES – densidade energética superior, em Mcal/m³; DEL – densidade energética líquida, em Mcal/m³. Fonte: Autora (2014).

Como pode ser observado na equação 2, o poder calorífico líquido leva em consideração a umidade do material em questão. Dessa forma, o PCL será sempre inferior ao PCS. Neste caso, houve redução de 18 – 25% do PCS para o PCL. O menor valor de PCL foi encontrado para a amostra 7 (casca de arroz) e o maior valor para a amostra 2 (*Pinus* spp.).

A densidade de carbono fixo leva em consideração a massa específica básica do material e o teor de carbono fixo. Sendo assim, os resíduos com maiores valores de MEB e TCF,

consequentemente, resultam na maior DCF. A amostra 7 (casca de arroz) obteve a maior MEB e o terceiro maior TCF, o que resultou na maior DCF. Já o menor valor de DCF foi encontrado para a amostra 6 (*Eucalyptus* spp.). Neste caso, o que mais influenciou foi a MEB, que foi a menor encontrada.

A densidade energética superior é o produto da MEB e PCS. O maior valor foi obtido para a amostra 1 (*Pinus* spp.) e o menor valor para a amostra 6 (*Eucalyptus* spp.). Em contrapartida, a densidade energética líquida é o produto da MEB e PCL e apresenta a densidade de energia líquida disponível por unidade de volume de cada material, o que na prática representa melhor que a DES. O maior valor de DEL foi encontrado para a amostra 1 (*Pinus* spp.) e o menor para a amostra 11 (palha de milho).

A DES e DEL permitem calcular o potencial energético para uma determinada região em função da disponibilidade de cada tipo de resíduo. Esta informação é de extrema importância no planejamento de futuros projetos na área de compactação.

De maneira geral, os resíduos provenientes do setor florestal apresentaram os valores mais adequados em se tratando do uso para geração de energia, principalmente no que diz respeito ao teor de umidade, teor de cinzas e poder calorífico superior e líquido. Porém, os resíduos do setor agrícola, especialmente o sabugo de milho e a casca de arroz em alguns critérios, também tem um potencial energético que pode ser explorado. Os resíduos de casca e palha de arroz, palha de soja, palha e sabugo de milho apresentaram valores de PCS e PCL que devem levados em consideração para sua possível utilização para geração de energia.

3.5 CONCLUSÃO

- O teor de umidade das amostras é baixo, excluindo a amostra 8 (cinzas de casca de arroz), sendo excelente

para uso energético tanto in natura como em processos de compactação;

- Os resíduos, de forma geral, apresentam valores de massa específica básica adequados para compactação;
- Em relação à análise imediata, os resíduos florestais de *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp. apresentaram os menores valores para teor de cinzas e maiores valores para teor de voláteis;
- Os resíduos agrícolas, de forma geral, apresentaram os maiores valores para teor de cinzas e menores valores para teor de voláteis;
- Os resíduos florestais (*Pinus* spp., *Eucalyptus* spp. e mistura de *Pinus* spp. e *Araucaria angustifolia*) apresentaram os maiores valores para poder calorífico superior;
- Os elevados teores de umidade e cinzas contidos no material composto por cinzas de casca de arroz inviabilizam o seu uso na geração de energia sem prévio tratamento;
- Os resíduos florestais e agrícolas avaliados neste estudo possuem potencial para uso na geração de energia, exceto as cinzas de casca de arroz;
- Dentre os resíduos agrícolas, o sabugo de milho apresentou a melhor qualidade energética;
- A densidade energética permite calcular o potencial energético de uma determinada região em função da disponibilidade de cada tipo de resíduo.

3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1762**: Standard Test Method for Chemical Analysis of wood charcoal. PA: American Society for Testing and Materials. 2007.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 114 p.

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.

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.

COUTO, L.C.; COUTO, L.; WATZLAWICK, L.F.; CÂMARA, D. Vias de valoração energética da biomassa. **Biomassa e Energia**. Viçosa, v. 1, n. 1, p. 71-92, 2004.

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. Berlim, 2000.

MORAIS, M. R.; SEYE, O.; FREITAS, K. T de.; RODRIGUES, M.; SANTOS, E. C. S. dos.; SOUZA, R. C. R. Obtenção de briquetes de carvão vegetal de cascas de arroz utilizando baixa pressão de compactação. **Enc. Energ. Meio Rural**. Ano 6, 2006.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. **Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos**. Revista da Madeira, Curitiba, n. 89, p. 100-106, 2005.

SOUZA, M. M. de; SILVA, D. A. da; ROCHADELLI, R.; SANTOS, R. C. Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 02, p. 325-334, 2012.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI standard T 258 om-11**: Basic Density and Moisture Content of Pulpwood. Atlanta, 2011.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo contribuiu de forma muito significativa para o entendimento da cadeia produtiva de pellets e briquetes de biomassa residual em Santa Catarina.

Como analisado no capítulo 1, o retrato da situação atual desta cadeia mostrou que ela tem sua formação recente no estado e que, por esse motivo, ainda é desestruturada. Também ficou evidente a falta de interação entre e dentro dos componentes da cadeia produtiva, o que prejudica o fortalecimento e crescimento da mesma.

É necessário criar um espaço para intercâmbio de informações entre os componentes da cadeia produtiva, com o objetivo de discutir as oportunidades e ameaças envolvidas no setor que foram destacadas neste estudo e outras que ainda possam surgir. A troca de informações permite avaliar erros e acertos, impulsionando de forma positiva o desenvolvimento e expansão do setor de compactados (pellets e briquetes) no estado.

Este capítulo ainda mostrou que os custos de produção de pellets em relação à matéria-prima utilizada podem chegar a 70% do total. Além disso, o uso de apenas um tipo de resíduo para compactação (maravalha) pode configurar uma ameaça ao desenvolvimento da cadeia produtiva, pois os produtores de pellets ficam dependentes de um ou poucos fornecedores.

Tendo em vista que os custos de produção em relação à matéria-prima são altos, as ameaças relacionadas a este insumo devem ser tratadas como prioridade. Desta forma, o capítulo 2 abordou a realização do levantamento de potencial de geração de resíduos agrícolas e florestais das culturas presentes em Santa Catarina, buscando alternativas para uso na compactação. Este levantamento levou em consideração três critérios: quantidade de resíduos produzida, localização destes resíduos nas mesorregiões catarinenses e disponibilidade de uso dos mesmos.

O Estado é grande produtor destes tipos de resíduos, visto que a economia de várias mesorregiões é baseada na agricultura e silvicultura. As mesorregiões oeste catarinense, norte catarinense e serrana, foram as que mais produziram resíduos em 2012; possuindo grande potencial para a utilização destes resíduos para a geração de energia através da biomassa residual. Dentre as culturas, a de milho foi a que gerou a maior quantidade de resíduos em 2012, seguida da silvicultura, cultura de arroz e de soja.

A qualidade energética dos materiais que serão empregados na compactação é de extrema importância. Por este motivo, o capítulo 3 objetivou realizar a análise química e energética dos principais resíduos produzidos em Santa Catarina. Esta análise, juntamente com o levantamento da quantidade, localização e disponibilidade de resíduos, permite considerar o uso de outras fontes de biomassa para a compactação.

Esta análise demonstrou que os resíduos provenientes do setor florestal apresentaram os valores mais adequados em se tratando do uso para geração de energia, principalmente no que diz respeito ao teor de umidade, teor de cinzas e poder calorífico superior e líquido. Porém, os resíduos do setor agrícola, especialmente o sabugo de milho e a casca de arroz em alguns critérios, também tem um potencial energético que pode ser explorado.

De maneira geral, este trabalho permitiu dar visibilidade a cadeia produtiva de pellets e briquetes em Santa Catarina, evidenciando que ainda é necessário preencher várias lacunas. Estudos mais aprofundados na área econômica e na quantificação exata dos resíduos, como também na disponibilização dos mesmos para o uso na geração de energia, são importantes para o desenvolvimento do setor no Estado. Além disso, ensaios de compactação (briquetagem e peletização) devem ser realizados, com o objetivo de avaliar a qualidade final dos produtos.