

3

A Biomassa como Fonte de Energia Alternativa

3.1.

Breve Histórico do Setor Elétrico Brasileiro

O Setor Elétrico Brasileiro (SEB) foi inicialmente constituído como um monopólio estatal, com a gestão e a operação realizada por empresas federais e estaduais até 1997. Em 1998, em meio ao processo de privatização, foi implantado o Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro (Projeto RE-SEB) pelo Ministério de Minas e Energia (MME). O projeto teve como desencadeamento a desverticalização das empresas de energia elétrica, subdividindo os setores em geração, transmissão e distribuição. O objetivo era incentivar a competição nos segmentos de geração e comercialização, e manter sob regulação os setores de distribuição e transmissão de energia elétrica, considerados como monopólios naturais, sob regulação do Estado (ANEEL, 2011a).

Em 2001, o setor elétrico sofreu uma grave crise de abastecimento, devido a sub oferta de energia e a um longo período de escassez de chuvas, o que gerou um plano de racionamento de energia elétrica. A partir daí, gerou-se uma série de questionamentos sobre os rumos do setor elétrico brasileiro, que culminou na reestruturação da indústria e as possíveis alternativas para o futuro.

Durante os anos de 2003 e 2004, o Governo Federal lançou bases de aprimoramento do modelo para o Setor Elétrico Brasileiro, sustentado pela Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004 e pelo Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004.

Em termos institucionais, o novo modelo definiu a criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE como responsável pelo planejamento do setor elétrico a longo prazo, do Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico – CMSE com a função de avaliar permanentemente a segurança do suprimento de energia elétrica e da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE para dar continuidade às atividades do MAE, no que tange à comercialização de energia elétrica no sistema interligado.

Em relação à comercialização de energia, foram instituídos dois ambientes para celebração de contratos de compra e venda de energia: o Ambiente de Contratação Regulado (ACR), onde a energia pode ser vendida através de contratos de longo prazo garantidos pelo governo, permitindo aos investidores assegurar o financiamento para novos projetos de geração. Paralelamente foi criado o Ambiente de Contratação Livre (ACL), permitindo geradores, distribuidores e empresas com consumo significativo de energia, possam negociar livremente contratos bilaterais regulados pela ANEEL, através de leilões de compra e venda de energia elétrica viabilizados pela CCEE. Esses contratos são celebrados entre agentes vendedores (comercializadores, geradores, produtores independentes ou autoprodutores) e compradores (distribuidores).

A CCEE também é responsável por registrar os montantes de energia medida, gerada, vendida, consumida e contratada, fazendo um balanço da energia entre os agentes. As diferenças contabilizadas são liquidadas no Mercado de Curto Prazo e integradas ao cálculo do Preço de Liquidação das Diferenças – PLD.

O PLD é determinado semanalmente pela CCEE e seu valor tem como base o Custo Marginal de Operação (CMO) informado pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), que considera as previsões de disponibilidade e demanda para a semana subsequente, dentro de um limite de preço máximo e mínimo definidos para cada submercado e estipulados anualmente pela ANEEL.

3.2.

Participação da Biomassa na Matriz Energética Brasileira

O Sistema Elétrico Brasileiro tem como uma de suas principais características a grande dependência dos recursos hidrelétricos, que atendem mais de 75% da demanda atual. Mesmo necessitando de elevado investimento inicial para sua concretização, as hidrelétricas possuem baixo custo operacional, quando comparado a outras fontes de energia de origem fóssil. Por outro lado, o sistema depende do regime de chuvas e da manutenção do nível dos reservatórios para suprir a demanda de energia elétrica nacional (ANEEL, 2011a).

A viabilização de grandes projetos hidrelétricos sofre ainda impactos ligados a questões ambientais e de aprovação social que desencorajam o financiamento por grandes instituições de fomento, além de gerar conflitos em

relação aos deslocamentos e reassentamentos das populações atingidas pelos reservatórios das usinas hidrelétricas (LARENTIS, 2009).

No Brasil, as opções de geração de energia de forma sustentável e a preços competitivos têm sido percebidas pelo governo e pelo mercado como fortemente relacionadas ao desenvolvimento de fontes de energia alternativa. O cenário atual indica que estas irão crescer de forma significativa em relação à geração mundial de energia, considerando as diversas fontes existentes (WWEA, 2011). Dessa forma, a viabilidade comercial do uso de fontes alternativas é fundamental para atender a demanda futura, a qual se espera crescer acima de 54% nos próximos 10 anos (PDE, 2011).

As fontes de energia alternativa podem ser entendidas como as de potência injetada na rede menor ou igual a 30.000 kW, como a hidráulica obtida dos rios, considerando área inundada máxima de 3Km² (Lei 9.648, 1998), energia eólica, solar, geotérmica, a energia obtida a partir de biomassa e biocombustíveis, inclusive biogás, lodos de depuração de águas residuais, resíduos agrícolas, florestais, de criação animal, e de quaisquer processos envolvendo a atividade ou o metabolismo de organismos vivos, e a fração biodegradável de resíduos de processos industriais (ANEEL, 2011).

Dentre as fontes de energia alternativa, a biomassa se destaca pela grande disponibilidade gerada pela produção de açúcar e etanol e por apresentar grande potencial de crescimento para os próximos anos, segundo apontado pela 3ª edição do Atlas da Energia Elétrica do Brasil elaborada pela ANEEL (2011a). De maneira geral, a biomassa é vista como uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e como opção de geração complementar, uma vez que o período de safra da cana de açúcar no Sudeste coincide com o período de seca no Sudeste e Centro-Oeste, onde as principais hidrelétricas estão instaladas. A geração de energia pela biomassa durante esse período tem potencial de contribuir para a manutenção do nível dos reservatórios hidrológicos (STREET *et al.*, 2009).

Do ponto de vista energético, para fins de empreendimentos do setor elétrico, a ANEEL considera como biomassa todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. Embora grande parte da biomassa seja de difícil

contabilização, devido ao uso não comercial, estima-se que até 2011, tenha representado cerca de 14% de todo o consumo mundial de energia primária.

Segundo a ANEEL, a precariedade e a falta de informações oficiais sobre o uso da biomassa para fins energéticos está relacionada a países com economia intensiva em agricultura, comumente ligada a setores menos desenvolvidos e de forma pulverizada, além de se tratar de uma fonte energética dispersa. Cabe ainda considerar que o uso da biomassa para fins energéticos é indevidamente associado a problemas de uso concorrente do solo para agricultura tradicional, desflorestamento e desertificação.

Segundo o último relatório anual do *World Energy Council* – WEC (2010), a biomassa proveniente de resíduos agrícolas e florestais para geração de energia térmica, energia elétrica e de combustíveis para transporte, poderá atender até 30% da demanda projetada de energia global de maneira sustentável. O relatório afirma, no entanto, que a competitividade de custos, as futuras políticas de incentivo e o cumprimento de metas de redução de emissões (GEE) são determinantes para atingir esta projeção.

Nos Estados Unidos, em que a capacidade instalada do parque gerador de energia oriunda de biomassa era de 200 MW no final dos anos 1970, subiu para 8,4 GW no início dos anos 1990 (WALTER; NOGUEIRA, 1997). A maioria corresponde a plantas de cogeração, com utilização de resíduos agrícolas e florestais. Embora com eficiência termodinâmica relativamente baixa (18% a 26%), essas plantas eram tidas como economicamente competitivas. Os custos correspondiam a cerca de US\$ 1.400,00 por kW instalado e entre US\$ 65,00 e US\$ 80,00 por kWh gerado.

Para o U.S. Department of Energy (2010) a meta de capacidade instalada de fontes alternativas nos EUA chega a 100 GW em 2030. O aumento de eficiência termodinâmica e a consequente redução dos custos de capital e geração deverá contar com o desenvolvimento de novas tecnologias, como o acoplamento de sistemas de gasificação e a integração da pirólise às turbinas a gás. Em termos de eficiência, estima-se que os índices serão de 35% a 40%. Quanto aos custos, o kW instalado deverá ficar na faixa de US\$ 770,00 a US\$ 900,00, e o MWh gerado entre US\$ 40,00 e US\$ 50,00.

O Brasil possui grande disponibilidade de território localizado em regiões tropicais e chuvosas, oferecendo condições muito favoráveis para a produção e o

uso energético da biomassa em larga escala. Além da produção de álcool, queima em fornos, caldeiras, fabricação de briquetes e outros usos não comerciais, a biomassa apresenta grande potencial no setor de geração de energia elétrica.

Em 2010, a biomassa detinha 27,2% de participação na matriz energética brasileira, tendo sido a segunda principal fonte de energia, superada apenas pela hidreletricidade, que foi responsável pela produção de 74% da oferta total, segundo dados do Balanço Energético Nacional – BEN (2011).

O governo brasileiro tem adotado políticas de incentivo à geração de energia por biomassa, as quais, sobretudo contribuem para o aproveitamento dos resíduos da cana de açúcar, como uma das principais fontes de energia alternativa para atender a futura demanda de energia no Brasil. De acordo com o Banco de Informações de Geração - BIG (ANEEL, 2011b), no levantamento referente a 2010 existiam 409 termelétricas movidas à biomassa no país, que correspondiam a um total de 8.147 MW (megawatts) instalados, sendo que a grande maioria (335) utilizava o bagaço da cana de açúcar como fonte energética e responsável pela geração de 6.500 MW. O que representou um aumento de 43% no número de usinas com cogeração pela biomassa pela cana, quando comparado a 2009. Do total de usinas relacionadas, 14 são abastecidas por licor negro (resíduo da celulose) com potência total de 1200 MW; 41 por madeira (359 MW); 13 por biogás (69 MW) e seis por casca de arroz (19 MW).

3.3.

O Aproveitamento da Palha da Cana de Açúcar

O Brasil é líder mundial na produção de cana de açúcar, com mais de 500 mil toneladas produzidas ao ano e com forte tendência de crescimento. O volume produzido e o potencial de aumento da produção da cana de açúcar, estimulada pelo consumo interno crescente de etanol e pelas exportações de álcool, são fatores que contribuem para o cenário de expansão da biomassa.

A cana de açúcar é composta por colmos (em que se concentra a sacarose), pontas e folhas (palha da cana) e pelas raízes, como ilustrado na Figura 1. Uma tonelada do colmos contém cerca de 140 kg de sacarose, 130 kg de fibra (bagaço), além de mais 140 kg de material ligno-celulósico relacionado à palha da cana. A sacarose é totalmente utilizada para a fabricação de açúcar e etanol e seu teor é o principal critério para a determinação da qualidade da variedade de cana. Já a

fibra (bagaço), resultante do processo de moagem, confere grande competitividade aos produtos da cana, pois ainda representa aproximadamente 30% da energia contida na cana de açúcar. O bagaço tem, entre outras destinações, a utilização (cerca de 90%) em ciclos de potência em cogeração, mas com uso final e conversão ainda ineficientes, enquanto a palha (que representa outros 30% de energia da cana) é parcialmente queimada para possibilitar a colheita manual ou aumentar a produtividade na colheita mecanizada (HASSUANI *et al.*, 2005).

A colheita da cana no Brasil tem evoluído do sistema de queima prévia controlada do canavial para o sistema de colheita mecanizada da cana picada sem queima, devido ao protocolo de intenções assinado em 2007, pela União da Indústria de Cana de Açúcar (UNICA) com os governos Federal e Estadual, no qual aceitam eliminar a queima nas áreas mecanizáveis até 2014 e nas áreas não mecanizáveis até 2017 (SEABRA, 2008). O protocolo de intenções vai de encontro ao estipulado anteriormente pelo Decreto Federal 2.661, de 8 de julho de 1998. Na safra de 2010, a área colhida com máquinas e sem fogo superou 60% de toda a cana plantada no estado de São Paulo (UNICA, 2011).

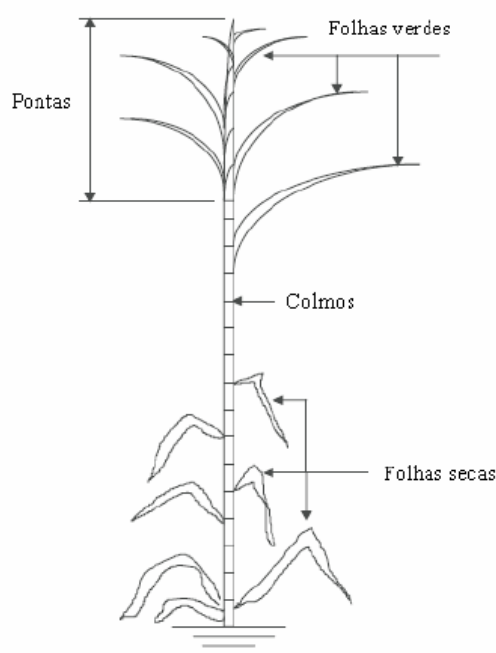


Figura 1 – Partes da Cana de Açúcar

Fonte: Hassuani, Leal et al. (2005)

A cana de açúcar, além de reconhecidamente importante como insumo para produção de etanol e açúcar, possui também flexibilidades no aproveitamento da biomassa oriundas do processamento da cana (bagaço e palha).

O uso da biomassa da cana em fluxos de energia final na forma de calor, combustível ou energia elétrica ocorre por diferentes rotas de aproveitamento e utilizando tecnologias de conversão que incluem a combustão (bastante difundida), a gasificação (em estágio avançado de testes), o bioprocessamento, e recentemente a pirólise (em desenvolvimento). A Figura 2 resume as alternativas disponíveis para conversão termoquímica e bioquímica.

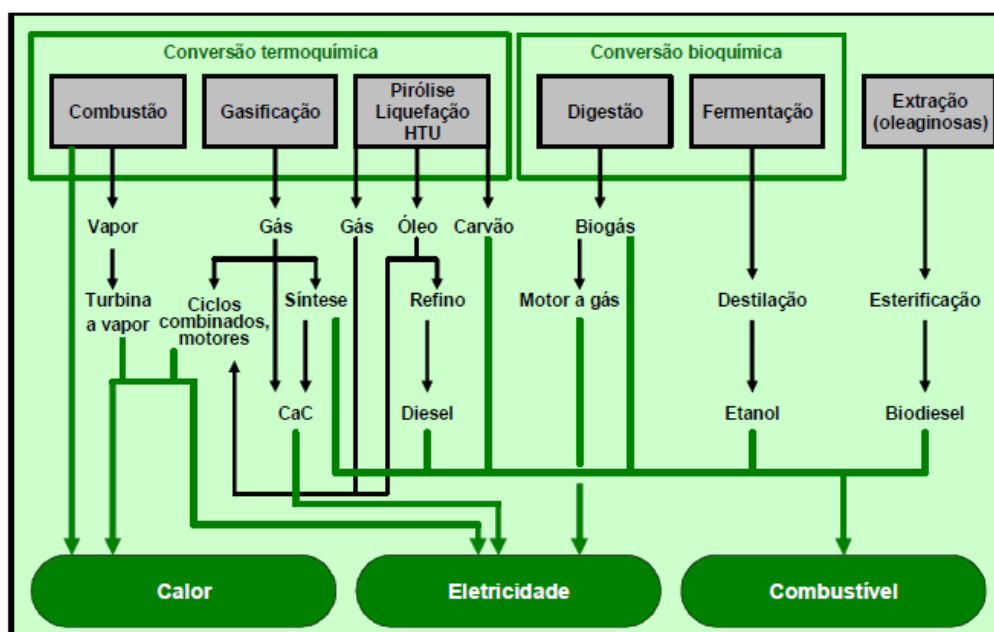


Figura 2 – Principais Opções de Conversão da Biomassa

Fonte: Seabra (2008)

A decisão quanto ao aproveitamento energético e às tecnologias empregadas está diretamente relacionada aos custos envolvidos e à viabilidade econômico-financeira de implantação. Recentemente, o Centro de Tecnologia Canavieira – CTC finalizou um estudo experimental conduzido entre os anos de 1997 a 2005, sobre as tecnologias a serem empregadas para no recolhimento do bagaço e a palha da cana e o potencial uso energético desses resíduos (HASSUANI *et al.*, 2005).

Para quantificar a disponibilidade e custo da palha na usina, foram estudadas variedades de cana, estágios de corte, regiões e rotas de colheita, considerando, também, a possibilidade de deixar parte da palha no campo de forma a minimizar

a perda de produtividade do solo. Os impactos econômicos foram comparados com o caso base de manter a palha no campo e levaram em conta os custos de recolhimento, processamento, limpeza e transporte da palha. Foram igualmente avaliadas as variações de custos nas operações agrícolas, na capacidade de moagem e eficiência de extração.

Com o objetivo principal de recolhimento da palha para aproveitamento energético, a estrutura do estudo considerou três alternativas de colheita sem a realização de queimadas e sistemas de recolhimento da palha. As alternativas que previam a colheita da cana inteira ou cortada foram:

- a) Alternativa 1: a cana de açúcar é recolhida junto com um percentual de palha e levada à usina para limpeza, utilizando maquinário específico. O grau de eficiência na limpeza da cana chega a 76%. A palha que fica no campo é parcialmente enfardada em cubos (pode chegar a 64% do total), que são transportados à usina por caminhões. Parte da palha é usada para cobertura do solo;
- b) Alternativa 2: a cana de açúcar é totalmente recolhida junto com a palha, tendo uma perda de eficiência de 5% no processo. Após transportada para a usina e separada da palha na estação de limpeza a seco, 30% da palha é moída junto com a cana. Por fim, 66% da palha restante ainda pode ser usada pela usina;
- c) Alternativa 3: a colheitadeira separa parte da palha, 30% da palha fica no solo e o restante é levado à usina junto com a cana de açúcar, para separação na estação de limpeza a seco. 21% da palha é moída junto com a cana e outros 50% são separados pela usina.

Após análise de viabilidade técnica e de custos, as Alternativas 2 e 3 apresentaram como principais problemas a reduzida viabilidade técnica e baixa aplicação comercial. Por outro lado, a Alternativa 1 mereceu destaque pois mesmo não apresentando o menor investimento e custos correntes, até o momento apresenta maior eficiência na disponibilidade final da palha que não é usada no processo de moagem e representa a alternativa comercialmente disponível no Brasil com equipamentos já testados e utilizados por algumas usinas (HASSUANI *et al.*, 2005)

O processo de recolhimento da palha pela Alternativa 1, envolve o enleiramento (ajuntamento da palha), a compactação em fardos quadrados que são

deixados no campo, o carregamento e transporte dos fardos, assim como a descarga na usina. Para o enfardamento da palha em cubos são utilizadas enfardadeiras, como ilustrado na Figura 3, nas quais a palha sofre compressão mecânica para sua compactação.



Figura 3 – Enfardadeira de Palha

Fonte: Hassuani *et al.* (2005)

Após o enfardamento, a palha enfardada é deixada no campo para o carregamento em caminhões e transportada à usina, como observado pela Figura 4 e Figura 5.



Figura 4 – Palha Enfardada

Fonte: Hassuani *et al.* (2005)



Figura 5 – Carregamento da Palha

Fonte: Hassuani *et al.* (2005)

O estudo do CTC considerou uma usina com produção base em 1.300 Mtc por ano, com 10 colheitadeiras, 21 tratores reboque, 21 caminhões, cujo nível de eficiência permite transportar 43.909 toneladas de palha misturadas à cana e o enfardamento de 114.900 toneladas de palha. O conteúdo de palha remanescente no solo seria de 21.886 toneladas (17% do total de palha).

Os custos totais da palha ficariam próximos a R\$ 35,00 por tonelada de palha, incluindo enfardamento, carregamento e transporte até a usina, além do

custo de oportunidade da palha no campo e processamento. Se por um lado os custos levantados para a Alternativa 1 são 34% mais elevados do que a Alternativa 3, aqueles são 60% mais baixos do que a Alternativa 2.

Do ponto de vista de utilização da biomassa da cana após o recolhimento, existem alternativas pouco observadas em outros tipos de biomassa. Na literatura, encontram-se estudos sobre o aproveitamento do bagaço e da palha para o etanol de 2ª geração ou etanol celulósico, indústria de papel e celulose, ração animal, e para fins energéticos na forma de vapor, eletricidade, briquetes e cogeração (HOSIER, SVENNINGSON; CAPUTO *et al.*; SEABRA *et al.*; VILLANUEVA, REYES, OLLERO, GÓMEZ-BAREA, 1987, 2005, 2010, 2011).

Mesmo numa região com alta densidade demográfica como São Paulo, é possível encontrar muitas áreas de plantio de cana. A maior parte da energia dessa biomassa é utilizada na produção do etanol, mais especificamente pelo esmagamento do bagaço. No entanto, o Estado é importador de eletricidade (40% do consumo) e exportador de álcool para o resto do País (UNICA, 2011).

3.4.

A Cogeração Utilizando a Biomassa da Cana de Açúcar

Anualmente o setor sucroalcooleiro movimenta cerca de R\$ 90 bilhões em vendas nos diversos elos que compõem o sistema de produção agroindustrial da cana, representando aproximadamente 4% do PIB nacional. Em 2010, o país produziu pouco mais de 590 milhões de toneladas de cana, sendo 56% destinados à produção de etanol. As exportações brasileiras de açúcar atingiram 24 milhões de toneladas, enquanto o etanol chegou a 1,8 milhão de tonelada (UNICA, 2011).

Este cenário de competitividade da produção da cana e de seus derivados, em parte é explicado pela auto-suficiência energética das usinas brasileiras, o que contribui para manter custos de produção relativamente baixos, adicionando-se ainda a flexibilidade de incremento de receita via venda de energia elétrica decorrente da reutilização da biomassa.

A participação da biomassa na matriz energética nacional é importante não somente pela diversificação entre fontes, mas também pela safra coincidente com o período de estiagem na região Sudeste/Centro-Oeste, onde está concentrada a maior potência instalada em hidrelétricas do país. A eletricidade fornecida neste período possui potencial para auxiliar na preservação dos níveis dos reservatórios

das UHEs, atuando assim de forma a complementar a oferta de energia ao Sistema Interligado Nacional (STREET *et al.*, 2009).

De acordo com estimativas da União da Indústria de Cana de Açúcar (UNICA, 2011), até 2020 a eletricidade produzida com a biomassa da cana de açúcar poderá representar 15% da matriz energética brasileira (em MW), com a produção de 14.400 MW médios (ou produção média de MWh ao longo de um ano), considerando-se tanto o potencial energético do bagaço e da palha (ainda incipiente) quanto a estimativa de produção da cana, que deverá dobrar em relação a 2008, e atingir 1 bilhão de toneladas. Segundo o Plano Nacional de Energia (PNE, 2011), o maior potencial de produção de eletricidade encontra-se na região Sudeste, particularmente no Estado de São Paulo, e é estimado em 609,4 milhões de Gigajoules (GJ) por ano. Na sequência estão Paraná (65,4 milhões de GJ anuais) e Minas Gerais (63,2 milhões de GJ anuais).

A eficiência energética das usinas é uma variável que ainda impacta seriamente a ampliação do potencial de cogeração pela biomassa da cana. O consumo das usinas em média é de aproximadamente 330 kWh/tc de energia térmica (equivalente a 500 kg de vapor por tonelada de cana), além dos 16 kWh/tc de energia mecânica (sistema de preparo, moenda e motobombas) e 12 kWh/tc de energia elétrica (SEABRA, 2008). Apesar do desenvolvimento de novas tecnologias de conversão com sistemas de geração de energia de alta pressão como turbinas de condensação e a gasificação, o consumo de energia térmica ainda é muito elevado.

As opções comerciais para geração de energia nas usinas ainda estão restritas a sistemas de cogeração que utilizam ciclos a vapor. A continuidade desses sistemas ou a demora em investir em sistemas de alta pressão pode ser justificada pelos elevados investimentos requeridos nestes equipamentos e configurações de processos.

Por outro lado, no estudo conduzido por Seabra e Macedo (2011), foi realizada uma avaliação técnica, econômica e ambiental (mitigação de emissões de gases do efeito estufa) da geração de energia e produção de etanol através de sistemas de alta pressão. Além da importância e ineditismo deste estudo no Brasil quanto ao aproveitamento do bagaço para produção do etanol de 2ª geração e o baixo impacto ambiental pela redução de emissões, os resultados encontrados demonstram que com o uso de sistemas de alta pressão é possível exportar 50

kWh/tc e assim viabilizar os elevados investimentos no recolhimento da palha no campo, uma vez que a empresa possua a opção de comercializar a energia proveniente do bagaço e da palha como mais um produto da usina.

Cabe, no entanto, observar que a viabilidade econômica de projetos envolvendo a biomassa da cana para fins de geração de energia está sujeito a incertezas ao longo da vida útil dos projetos. Estas incertezas estão associadas, de maneira geral, à volatilidade do preço da energia (PLD).

Dessa forma, é importante também considerar outras flexibilidades para o aproveitamento energético do bagaço e da palha da cana de maneira que a empresa minimize possíveis impactos negativos no fluxo de caixa do projeto em decorrência da queda no preço de venda da energia, como observado em alguns estudos recentes no Brasil. Como exemplo, entre as diversas opções tecnológicas de utilização dos resíduos da cana avaliadas por Neto e Ramon (2002), aparece o aproveitamento da vinhaça – resultante da destilação do licor proveniente do álcool da cana de açúcar – como insumo para a produção de fertilizantes e ração animal, além da produção de energia. Em Seabra (2008), além da geração de energia elétrica, foi explorado o aproveitamento do bagaço e da palha para produção de etanol através da hidrólise e a produção de combustíveis de síntese a partir da gasificação da biomassa. Em Silva e Moraes (2008), foi analisado o desempenho energético do bagaço de cana de açúcar, em cada nível de umidade e em cada grau de compactação e a possibilidade de utilização do resíduo no processo de briquetagem.

3.5. A Biomassa para Produção de Briquetes

Desde a década de 1970 o governo brasileiro tem implementado políticas energéticas para aumentar o uso de biocombustíveis, dadas as condições geográficas e climáticas favoráveis aos agronegócios. A cada ano, cerca de 330 milhões de toneladas de biomassa de diferentes fontes são geradas no país (CENBIO, 2011).

No entanto, muitas vezes a biomassa é pouco aproveitada devido à baixa eficiência energética (baixa densidade, baixo poder calorífico e alto teor de umidade), além de altos custos de transporte, manuseio e estocagem. Algumas dessas desvantagens podem ser superadas se os resíduos (biomassa) sofrem um

processo de densificação para transformação em briquetes (FELFLI; MESA; ROCHA; FILIPPETTO; LUENGO, 2011).

Inicialmente é requerido um nível de umidade entre 8 e 15% e um tamanho de partículas entre 5 a 10mm para produção de briquetes (SILVA; FELFLI; PÉREZ; ROCHA; SIMÕES, 2006). No processo de briquetagem, a biomassa é picada e comprimida em altas pressões, o que faz com que haja a laminação da lignina, uma substância que atua como um componente aglutinante. O produto final deste processo são cubos compactados ou cilindros chamados briquetes, com capacidade de concentrar grande quantidade de energia por unidade de volume. (JUNIOR; GUIMARÃES; SANTOS, 2003). Entre as vantagens do briquete frente a biomassa não compactada (VILELA, 2010), destacam-se:

- a) Homogeneização dos resíduos vegetais;
- b) Secagem e condensação de energia;
- c) Forma e granulometria mais adequada ao processo térmico;
- d) Menor conteúdo de pó e menor geração de cinzas;
- e) Reduzido risco de explosão;
- f) Transporte e estocagem facilitados.

O mercado de briquetes é focado no segmento de varejo, especialmente de pequeno porte, tais como pizzarias, restaurantes, padarias e fábricas que utilizam fornos à lenha, como fábricas de tijolos e cerâmica. Há um grande número destas lojas (mais de 12.000) predominantemente no sudeste do Brasil. Os preços de venda de briquetes podem variar significativamente, dependendo do tipo de cliente e distância da entrega, mas em geral os preços estão na faixa de R\$ 200 a R\$ 300/kg, com um preço médio de R\$ 250/kg (FELFLI *et al.*, 2011).

O bagaço da cana de açúcar é o tipo de biomassa mais abundante no Brasil e tradicionalmente utilizado para suprir energia às usinas na produção de açúcar e etanol (ANEEL, 2011b). O excedente deste resíduo também poderia ser utilizado na produção de briquetes, mas em função do alto teor de umidade do bagaço (acima de 50%) seria necessário utilizar uma grande quantidade de energia para que fosse realizada a briquetagem, o que praticamente inviabilizaria o processo (HASSUANI *et al.*, 2005). Por outro lado, a palha da cana, que começa a despontar como mais um insumo energético das usinas e cujo teor de umidade gira em torno de 14%, é considerada neste trabalho como insumo no processo de

briquetagem, em função da sua abundância e das suas características físico-químicas.