

Capítulo III

A eficiência energética de fontes renováveis no Brasil: avaliação da utilização da biomassa da cana-de-açúcar na cogeração de energia elétrica no setor sucroalcooleiro

Por Daniela Cassula, Julio Zanzini, Juliana Lino, Talita da Silva e Zildo dos Santos*

O grau de independência energética do país determina o grau de desenvolvimento econômico, social e ambiental. A eletricidade pode ser obtida de diversas fontes, renováveis ou não. Neste contexto, o Brasil se destaca por ser um país pouco dependente de combustíveis fósseis para a geração de eletricidade. A biomassa foi uma importante fonte de energia desde os primórdios da civilização até meados do século XIX. Com a revolução industrial, o carvão mineral passa a ser a principal fonte para a geração de eletricidade, principalmente para os países que possuíam grandes reservas, o que garantiu a esses um maior avanço na industrialização. À medida que ocorreu a intensificação do uso da energia elétrica, observaram-se a construção e o aperfeiçoamento de sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia, possibilitando a geração de sistemas compostos por usinas elétricas, linhas de transmissão e redes de distribuição, controlados e operados de forma integrada.

Para a geração de energia elétrica no Brasil, existem diferentes formas e possibilidades. A evolução para o uso de cada uma delas depende da disponibilidade de recursos e de investimentos direcionados para cada

um deles. Neste contexto, no ano de 2012, a principal fonte de geração era a hidráulica, com produção de 79.811 MW. Como forma de se complementar a oferta de energia elétrica no Brasil, há alguns incentivos por parte do governo para a geração através da biomassa e, no ano de 2014, o país contava com 502 usinas termelétricas movidas por biomassa. Destas usinas, 386 usavam o bagaço da cana-de-açúcar como matéria-prima, contribuindo para uma potência instalada de aproximadamente 9.839 MW de eletricidade. Deve-se ressaltar que as termelétricas que utilizam o bagaço da cana-de-açúcar surgem como uma alternativa complementar nos períodos de baixos índices de chuva, assumindo assim um importante espaço na matriz eletroenergética brasileira, uma vez que as fontes de biomassa estão sujeitas às safras agrícolas.

O processo de cogeração na indústria da cana-de-açúcar consiste em aproveitar o vapor produzido pela queima do bagaço em caldeiras para movimentar os equipamentos da própria usina e acionar conjuntos geradores de eletricidade. Inicialmente, a cogeração tinha por objetivo gerar energia somente para a própria indústria. Com o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e a sua

consequente utilização, possibilitou o aumento da produção e, consequentemente, a geração de energia excedente, sendo esta destinada para comercialização. Segundo Faccin (2011), a cogeração teve início no início do século XX para o atendimento das necessidades de produção das usinas, porém, esta perdeu espaço para as tecnologias de obtenção com menor custo, como as hidrelétricas e termelétricas movidas a carvão, gás natural e óleos combustíveis.

A instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em 2010, determinou que o reaproveitamento energético dos resíduos sólidos fosse uma destinação final ambientalmente adequada. Além disso, tem como um de seus princípios o incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental voltados para a melhoria dos processos produtivos e reaproveitamento de resíduos para o aproveitamento energético.

As usinas de açúcar etanol, desde muito tempo, desenvolvem e implantam medidas que diminuem os impactos ambientais gerados por suas atividades produtivas. Igualmente, tem realizado grandes investimentos visando à geração de energias limpas e renováveis, como

é o caso do etanol, também chamado de álcool etílico, produzido quase que exclusivamente pela fermentação e pela destilação do caldo de cana e do melaço, um resíduo da produção de açúcar, e a bioeletricidade, energia elétrica produzida a partir de biomassa do bagaço da cana, de forma a atender aos interesses nacionais e aos internacionais, principalmente no caso do etanol. O vinhoto, resíduo da destilação do melaço é usado como fertilizante. Para Santini (2011), a utilização do subproduto da cana para a geração de energia elétrica também traz grandes oportunidades ao país, pois pode ajudar a complementar o fornecimento interno de energia, além de posicionar a nação como grande produtora de energias limpas não provenientes dos recursos fósseis e hídricos tradicionais. Observa-se, na cadeia produtiva das indústrias sucroalcooleiras, a metodologia da produção mais limpa aplicada, onde há a incorporação dos resíduos gerados em novos processos produtivos.

A cogeração de eletricidade na indústria sucroalcooleira passou por várias etapas até a sua comercialização. Os resíduos (bagaço)

gerados pela produção de açúcar e etanol eram um grande problema para as usinas, uma vez que o seu descarte era um grande desafio para o setor. Impulsionado pela criação do Programa Nacional do Álcool (Proalcool) e a expansão da produção de açúcar durante a década de 1990, o crescimento do setor levou a mudanças significativas que possibilitaram a exploração dos subprodutos da produção de açúcar e etanol. Este panorama, associado à crise energética vivenciada pelo país no ano de 2001, possibilitou que em 2004 o setor sucroalcooleiro pudesse produzir eletricidade para o seu próprio consumo (autoprodutor) e destinar parte da energia elétrica produzida à comercialização (produtor independente). Neste contexto, inicia-se no país uma política de apoio de incentivos à produção de energia via cogeração em um período que coincide com a implantação em larga escala de usinas.

A biomassa da cana-de-açúcar é a matéria-prima mais representativa no panorama de cogeração elétrica no país. Estima-se que a quantidade de bagaço produzida por safra represente 30% do volume de cana-de-açúcar

moída, permitindo que as usinas se tornem autossuficientes em termos de energia, tendo assim a oportunidade de comercializar a energia excedente. A utilização do bagaço para a cogeração torna-se importante para as usinas, pois oferece ao resíduo, que ocupava grandes áreas da usina para destinação, um papel na geração de novos produtos, já que para cada tonelada de cana-de-açúcar processada, são gerados 225 kg de bagaço e cada tonelada de bagaço pode gerar mais de 300 KWh para a rede elétrica. Para processar uma tonelada de cana-de-açúcar, são necessários 12 MWh de energia elétrica, quantidade facilmente gerada de energia pela própria usina.

Uturbey e Aguilar (2010) e Apud Fodra (2012) argumentam que a cogeração pela biomassa na indústria sucroalcooleira está exposta a fatores de risco, dentre eles, o regime de chuvas, valor de comercialização do MWh, preço dos combustíveis, quantidade e qualidade do bagaço, dinâmica dos mercados de açúcar e etanol e penalidades impostas à descontinuidade no fornecimento de energia à concessionária.

A atividade de produção de energia, em particular da energia elétrica, tem como principal desafio para o século XXI expandir e diversificar sua matriz e oferta, com o propósito de manter a qualidade de vida e possibilitar o progresso econômico e social, que possui uma demanda contínua. Todavia, essa expansão deve se dar de forma a diminuir ou minimizar impactos ambientais, mas suportando o crescimento econômico. Frente a essa exigência e ao atual panorama mundial referente a questões ambientais, em que as discussões orbitam em pautas como produção mais limpa, desenvolvimento sustentável e química verde, ou seja, várias metodologias e mecanismos que objetivam, entre outros temas, a redução na geração de resíduos e a preservação dos recursos naturais, a produção de eletricidade a partir de recursos renováveis derivados de resíduos de um processo produtivo aparece como um cenário importante a ser analisado. Quando associado ao conceito de produção mais limpa, observa-se que a cogeração de eletricidade em um sistema de alta eficiência deixa de gerar subprodutos ou resíduos e passa a incluir novos produtos a partir de seus processos produtivos.

Dessa forma, foram objetivos deste estudo: levantar dados evolutivos da matriz energética mundial e brasileira; demonstrar a importância da bioenergia no panorama energético brasileiro; identificar os métodos da geração de bioenergia através do bagaço da cana-de-açúcar; verificar a potência energética da biomassa; avaliar os benefícios econômicos para a indústria do setor sucroalcooleiro; reconhecer os poluentes atmosféricos e os impactos ambientais da produção de bioenergia; avaliar a aplicação dos princípios da química verde e da produção mais limpa no setor sucroalcooleiro.

METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho optou-se como método o estudo de caso, em que a coleta de dados ocorreu por meio de entrevista, com a utilização de um roteiro contendo questionamentos sobre o processo de cogeração de energia elétrica em uma

visita técnica em uma usina de açúcar, etanol e bioenergia localizada no Município de Pirassununga, no Estado de São Paulo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A empresa em estudo foi fundada há 100 anos e em 2006 foi adquirida por um grupo espanhol. Possui uma área de aproximadamente 48 mil hectares, contando com canaviais próprios e arrendados (Figura 1).

Os produtos da usina consistem em etanol, açúcar e obtenção de bioenergia através do bagaço e da palha da cana-de-açúcar. Na safra 2013/2014 foram colhidas 3.600.000 toneladas de cana-de-açúcar, das quais foram produzidas 344.594 toneladas de açúcar e 78.073 m³ de etanol. Como resíduos, foram geradas 796.258 toneladas de bagaço, que, juntamente com parte da palha, geraram 338.828 MWh de eletricidade. Deve-se ressaltar que a cana-de-açúcar produzida nos canaviais da usina (próprios e arrendados) é proveniente do Município de Pirassununga e de outros municípios próximos. O sistema de cogeração foi adotado há muito tempo pela empresa, porém, a produção para a comercialização é recente, com início há cinco anos. A inserção de um novo produto para comercialização fez com que houvesse a aquisição de novos

equipamentos, sendo estes mais eficientes que o sistema utilizado anteriormente.

O processo de cogeração (Figura 2) depende de todas as etapas do ciclo produtivo de açúcar e etanol. A biomassa consiste no resíduo sólido da produção de açúcar e etanol (bagaço da cana-de-açúcar) e de parte da palha.

A fase agrícola é a primeira etapa do processo. Após passar pela fase de plantio e desenvolvimento da planta, o processo produtivo sucroalcooleiro chega à etapa da colheita da cana-de-açúcar, que pode ser realizada de forma manual ou mecanizada, através de maquinário específico denominado colheitadeira. Em ambas as formas de colheita, a cana-de-açúcar é transportada, por meio de caminhões, e disposta em containers. Por meio de processos automatizados, os containers são tombados em uma esteira para que se dê início a fase industrial do processo. A etapa agrícola interfere na geração dos produtos da usina sucroalcooleira, onde o tipo de colheita adotada é um ponto determinante. Segundo Fernandes et al (2013), a forma como a cana-de-açúcar é colhida traz interferências para a qualidade da matéria-prima, em que a colheita mecanizada possibilita um maior aproveitamento da planta para fins energéticos, além de garantir uma melhoria da matéria-prima para a indústria. Isso porque, de acordo com Conab (2011), a colheita mecanizada possibilita um maior

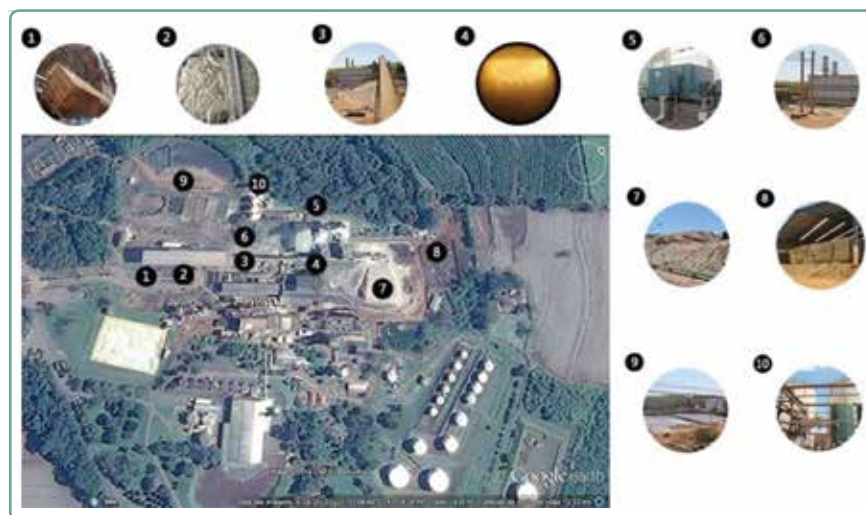


Figura 1 – Representação da planta da usina. Fonte: autores do trabalho.

Legenda: 1 – Tombadores da cana-de-açúcar; 2 – Moagem da cana-de-açúcar; 3 – Esteira para o transporte do bagaço; 4 – Caldeira; 5 – Gerador; 6 – Transmissão da Eletricidade; 7 – Monte de bagaço; 8 – Armazenamento da palha; 9 – Lagoas para decantação de efluentes; 10 – Sistema de tratamentos de efluentes.

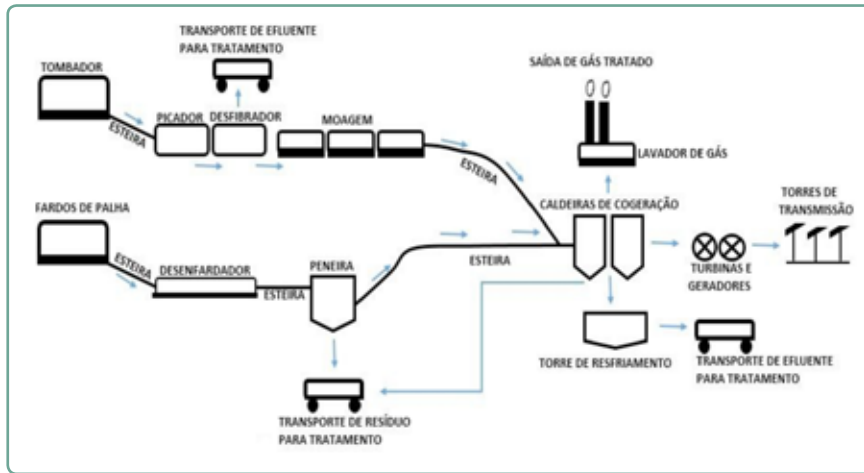


Figura 2 – Fluxograma da cogeração na usina. Fonte: autores do trabalho.

recolhimento de resíduos, em especial, da palha, para a transformação em combustíveis nas caldeiras das unidades produtoras. Isso se deve ao fato de que a palha resultante da colheita, além de ser utilizada em conjunto com o bagaço gerado após a moagem para a produção de eletricidade, tem o potencial para a produção do etanol celulósico ou de segunda geração.

Na esteira, a cana-de-açúcar é lavada com

água, para a remoção de areia e pedras. Este processo utiliza uma proporção de 1000 litros de água por cada 1000 kg de cana. O efluente resultante deste processo será destinado a uma lagoa de decantação para posterior tratamento químico. Após o tratamento, esta água entra em um processo de reuso na própria indústria. Após a limpeza, cana-de-açúcar também passará por dois processos, cujos equipamentos são o picador e o desfibrador. A

finalidade é facilitar e aumentar a eficiência da moagem. Após este processo, a cana-de-açúcar é transportada para a moagem, por meio de uma esteira.

A moagem é realizada por maquinário automatizado, que é controlado por um sistema operacional e monitorado por câmeras. Ocorre em três ciclos, garantindo assim a total extração do caldo, que será utilizado tanto na fabricação do açúcar, quanto do etanol. Como resíduo deste processo, tem-se o bagaço, que possui uma taxa de umidade de 50%. Neste período de safra, a média de moagem é de 600 toneladas de cana-de-açúcar por hora. O bagaço saído das moendas é direcionado para uma esteira principal, movida por um sistema de pistões, e é levado para duas caldeiras. Todo este processo é automatizado e monitorado. Parte do bagaço gerado é direcionada automaticamente para as caldeiras. O bagaço é misturado com a palha, no qual 25% da palha gerada é utilizada para a cogeração de energia. Este procedimento segue as orientações do fabricante dos equipamentos da cogeração. A palha, que possui folhas

longas, é previamente tratada, passando por um triturador. Tal procedimento viabiliza a preservação do equipamento, pois antes de entrar nas caldeiras, tanto o bagaço quanto a palha são puxadas por um sistema de seis ou oito rolos. Caso as fibras da palha não estejam trituradas, há o risco de estas danificarem o equipamento.

A utilização da palha juntamente com o bagaço da cana-de-açúcar traz benefícios para a cogeração, uma vez que para cada tonelada de cana-de-açúcar, são produzidos, em média, 204 kg de palha e seu poder calorífico inferior (PCI) é quase o dobro (1,7) do PCI do bagaço. Através de estudo realizado pela Piracicaba Engenharia Sucoalcooleira (2009), a queima da palha da cana-de-açúcar unida ao bagaço aumenta a produção do vapor em 70%, aumentando consequentemente a geração de energia elétrica.

As caldeiras do sistema de cogeração operam a uma temperatura de 520° C, onde cada uma possui uma capacidade de gerar 250 ton/h de vapor e 67 kgf/cm² de pressão. Nesta etapa do processo, a queima do bagaço é completa (Figura 3). O resíduo gerado neste processo consiste em impurezas presentes no bagaço, tais como areia e pedras, ou o bagaço com uma quantidade maior de umidade que não foi queimado completamente. As impurezas geradas pela queima são remetidas a um operador. Para a limpeza deste equipamento há o fornecimento de água, e esta mistura é drenada do interior das caldeiras. Estes resíduos sólidos, juntamente com outros resíduos orgânicos da usina, são encaminhados para uma central de compostagem.



Figura 3 – Queima da biomassa em caldeira.
Fonte: autores do trabalho.

Parte do vapor gerado pelas caldeiras é direcionada para os processos industriais que utilizam energia mecânica e a outra parte é encaminhada para as turbinas que geram a energia elétrica. O vapor que movimenta as turbinas gera energia, que por sua vez, é enviada para geradores para a produção de eletricidade. Como sistema de tratamento das emissões da caldeira, a usina utiliza o lavador de gases. Anualmente, a usina é monitorada por meio de visitas da Cetesb, que realiza a medição de poluentes do sistema. O vapor produzido pelas caldeiras passa por um sistema de tubos e é distribuído para três turbinas, sendo que uma delas opera em um sistema de condensação, que gera 22 MWh de energia utilizando 80 toneladas de vapor. As demais, que operam por sistema de contrapressão, necessitam de 154 toneladas de vapor, gerando cada uma delas um total de 25 MWh de energia elétrica. Dessa forma, a usina tem condições de gerar 72 MWh de energia, dos quais aproximadamente 20 MWh destinam-se à utilização da usina e o restante (cerca de 50 MWh) é comercializado para a rede elétrica a uma potência de 138 mil volts. Esta comercialização ocorre por meio de contratos do Governo Federal, através da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). Toda a energia enviada para a rede da concessionária local requer um contrato de locação da rede elétrica, onde a usina paga pela utilização desta.

Os sistemas com geradores a contrapressão são os mais utilizados na indústria sucoalcooleira. Em contrapartida, quando se considera somente a eficiência do processo, o gerador em condensação é mais eficiente, pois a produtividade média do sistema aumenta. Os sistemas de cogeração que possuem turbinas a vapor de contrapressão e turbinas de condensação são favoráveis às usinas, pois podem alcançar diferentes níveis de pressão, o que pode estar unido à necessidade de estabilizar o fornecimento da energia elétrica às concessionárias. Essa combinação também permite uma

maior flexibilidade às entregas de energia elétrica e calor para o processo. Em usinas que utilizam o ciclo a vapor com turbinas de condensação observa-se um aumento na eficiência global da geração de energia, onde este sistema possibilita uma maior obtenção em volume de energia elétrica. Cabe ressaltar que sua instalação exige investimentos altos.

O potencial de geração de energia elétrica está relacionado diretamente à tecnologia empregada, para que se tenha um processo mais assertivo e com viabilidade econômica e ambiental eficientes. Vale ressaltar que as caldeiras de alta pressão são mais eficientes que as de baixa e média pressão, já que possuem uma redução significativa nas emissões atmosféricas.

De acordo com Leme (2005), as emissões decorrentes da queima do bagaço em uma caldeira são estimadas em 6,75 kgCO_{2eq/tc}. Comparando estes dados com as emissões provenientes da queima de óleo combustível, verifica-se uma redução de 130,12 kg CO_{2eq/tc} quando ocorre a utilização do bagaço da cana-de-açúcar. Quando no sistema é observada a geração de eletricidade excedente com a utilização de equipamentos mais eficientes, as emissões de GEE com a queima do bagaço há um balanço positivo, uma vez que com uma quantidade menor de bagaço queimado ocorre uma maior geração de eletricidade. Para Miranda (2012), a participação do uso de energias renováveis na matriz de energia elétrica brasileira, como, por exemplo, a utilização da biomassa, faz com que o país assuma uma posição favorável em relação à média mundial no que diz respeito às emissões de GEE. Estima-se que na safra 2013/2014 evitou-se a liberação de aproximadamente 4 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera. Sem a bioeletricidade, ao se comparar o total de emissões do ano de 2012, no ano de 2013 esta seria cerca de 13% superior (UNICA, 2014).

O consumo de energia elétrica pela empresa durante o período de entressafra

é baixo, quando comparado ao período de safra. Na entressafra, as atividades da usina se limitam à realização das atividades administrativas e de manutenção dos equipamentos. Por esta razão, o processo de cogeração é suspenso por um período de três a quatro meses. Neste período, a energia utilizada vem da própria rede de distribuição, uma vez que a cogeração na entressafra não é financeiramente viável. Estima-se que, para o próximo ano, onde a usina passará a produzir o etanol de segunda geração, ocorrerá um maior período de produção, onde as atividades acontecerão em onze meses do ano, diferente do período atual, de oito ou nove meses. As instalações de termelétricas em usinas, além de suprir o seu próprio consumo de eletricidade nos processos de produção de seus produtos e subprodutos, abre a possibilidade de comercialização do seu excedente de energia. Estima-se que uma usina de médio porte consome cerca de 13 MWh, portanto, gera mais do que consome. Desta forma, o excedente pode ser comercializado em leilões de fontes de energia renovável ou vendido para a concessionária local e disponibilizados na rede. Nos leilões, o órgão regulador (Aneel) define a reserva de mercado necessária para a complementação da matriz elétrica e os potenciais geradores das empresas participantes, em que a distribuidora é obrigada a comprar a energia dos produtores selecionados, que, por sua vez, firmam contratos de longo prazo a fim de fornecer energia ao preço e quantidade estabelecidos durante o leilão. Estes sistemas de leilões ajudam a promover a eficiência econômica da usina e ainda possibilitam a expansão dos parques geradores.

A substituição de equipamentos pela usina ocorreu no início da comercialização de energia elétrica. A utilização de equipamentos mais modernos e eficientes aumentou a geração de eletricidade e reduziu a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) e material particulado. Porém, pelo balanço realizado pela empresa, uma

maior quantidade de energia é produzida e isso faz com que, conseqüentemente, haja uma maior emissão de gases. Mas, em virtude de uma maior área cultivada de cana-de-açúcar, que neutraliza estas emissões. Todas as emissões da usina são declaradas.

Paralelo ao etanol, que representa uma alternativa ao petróleo, a bioeletricidade cria uma opção que melhor complementa nosso sistema hidrelétrico. O Brasil possui uma matriz elétrica limpa, essencialmente mantida pelo potencial de energia gerado pelos rios. A complementariedade da Bioeletricidade sucroenergética à energia hidrelétrica gera uma economia de 4% dos reservatórios para cada 1000MW médios de bioeletricidade no período de estiagem, compreendido entre os meses de abril a novembro (UNICA, 2011). O reaproveitamento das cinzas geradas com a queima de bagaço de cana-de-açúcar na cogeração também pode ter uma destinação final ambientalmente adequada. Além da sua utilização como fertilizante na lavoura canavieira pelo processo de compostagem, a cinza, proveniente da queima do bagaço, substitui o cimento em massa na proporção de 30% e apresenta grande concentração de sílica, que tem desempenho de cimento pozolânico (cinzas vulcânicas). As fibras do bagaço da cana-de-açúcar também são utilizadas como reforço na produção de fibrocimento.

CONCLUSÕES

O panorama energético atual em níveis mundial e nacional demonstra um crescimento tanto na capacidade instalada, quanto na geração. Tal fato deve-se ao aumento de consumo, tanto pelo aumento populacional, quanto pelo desenvolvimento tecnológico. Para o atendimento desta demanda, há a necessidade em se buscar novas alternativas para a atual matriz eletroenergética, como a utilização de energias de fontes renováveis, seja esta pelo aumento da demanda, pela questão das alterações

climáticas ocasionadas pela geração de GEE ou pela instabilidade da matriz hidrelétrica atual. Com isso, percebe-se que a biomassa proveniente da cana-de-açúcar, em especial o bagaço, destaca-se na matriz de cogeração elétrica, pela sua maior disponibilidade em relação a outras fontes de biomassa e pela a crescente expansão do setor sucroalcooleiro no país. Este recurso energético não exige custos ou tratamento prévio para a sua utilização. É importante ressaltar que há uma diferença quanto ao poder calorífico da palha da cana-de-açúcar em comparação ao bagaço, tendo a primeira o dobro de poder calorífico em relação ao segundo. A associação dos dois elementos favorece a produção de eletricidade, sendo esta uma alternativa para aumentar a geração. Porém, há um limitante neste aspecto que é a capacidade do equipamento disponível na usina em termos de geração. Portanto, em caso de necessidade do aumento da geração de energia, exige-se, caso necessário, a substituição do equipamento que comporte esta nova demanda.

A bioeletricidade sucroenergética apresenta vantagens extremamente atrativas para matriz elétrica brasileira, uma vez que a intrínseca complementariedade que a bioeletricidade oferece ao parque hidroelétrico é outro tema de enorme relevância, já que a expansão da geração hidrelétrica vem se tornando cada vez mais limitada, seja pela disponibilidade de áreas, pelos problemas socioambientais decorrentes destes projetos ou pelas alterações nos períodos de chuvas em decorrência das alterações climáticas. Conclui-se, portanto, que a expansão da capacidade de geração de bioeletricidade ocasionaria grandes ganhos em termos de aumentar a segurança energética da matriz elétrica brasileira e melhora os níveis de diversificação da mesma.

Analisando o caráter ambientalmente sustentável, observa-se que a incorporação de resíduos do processo sucroalcooleiro (o bagaço e a palha) para a geração de energia elétrica diminui-se expressivamente o

volume de resíduos, atendendo, dessa forma, aos princípios da Química Verde, principalmente, no que diz respeito ao uso de fontes de matérias-primas renováveis e a busca pela eficiência energética. Já no que se refere à P+L, a adoção de sistemas com alta eficiência para a cogeração permite que os resíduos dos processos, em especial a biomassa, adquiram o papel de matéria-prima para um novo produto do processo produtivo, tornando assim a usina autossuficiente energeticamente. Percebe-se ainda que o setor atende aos requisitos legais da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) no que diz respeito ao aproveitamento energético dos resíduos sólidos como uma destinação final ambientalmente adequada.

No que se refere aos aspectos ambientais, a cogeração elétrica traz para o setor impactos ambientais positivos, uma vez que a energia (mecânica e elétrica) utilizada na indústria é proveniente da própria usina e a mesma comercializa o excedente, preservando assim os recursos hídricos, além de que as emissões de CO₂ provenientes da queima da biomassa são absorvidas pela fotossíntese dos próprios canaviais. Outro fator refere-se à geração de resíduos, que é diminuída em usinas que possuem sistema de cogeração. Dessa forma, previne-se a contaminação do solo e dos recursos hídricos. Deve-se ressaltar que, para a realização deste trabalho, levou-se em consideração toda a cadeia produtiva (agrícola e industrial) da cogeração elétrica e, por esta razão, outros aspectos ambientais foram identificados, porém, para uma melhor análise dos seus impactos, faz-se necessária a realização de um estudo mais aprofundado para o levantamento de aspectos e impactos ambientais.

Referências bibliográficas

• ALVES, M. *Estudo de sistemas de cogeração em usinas de açúcar e álcool, com utilização do bagaço e palha da cana*. 2011, 134 p. Tese (Mestrado em Engenharia

Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

- ALVES, J. O.; ZHUO, C.; LEVENDIS, Y. A.; TENÓRIO, J. A.S. *Síntese de nanotubos de carbono a partir do bagaço da cana-de-açúcar*. R. Esc. Minas, n. 65, v. 3, p. 313 – 318, 2012.
- ARIEDI JUNIOR, V.R.; MIRANDA, J.R. *Combustão do bagaço da cana-de-açúcar, autossuficiência energética e carbono neutro*. In: WORKSHOP AGROENERGIA, 7. 2013. Ribeirão Preto. Anais. Ribeirão Preto: 2013. p. 1-8.
- BIOELETRICIDADE. *Bioeletricidade: a energia verde e inteligente do Brasil*.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. *Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. 3 ed. Brasília: ANEEL, 2008.
- BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências*.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. *Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Balanço Energético Nacional 2013 - ano base 2012*. Rio de Janeiro, 2013.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. *Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Banco de Informações de Geração - BIG. Fontes de Energia*, 2014.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB.A *Geração termoelétrica com a queima do bagaço da cana-de-açúcar no Brasil: análise do desempenho da safra 2009-2010*. 2011.
- COSTA, W. L. S. BOCCHI, M. L. M. *Aplicações do bagaço da cana-de-açúcar utilizadas na atualidade*. Fatec Jab, v. 4, n. 1, p. 1 – 13, 2012.
- DANTAS, D. N. *Uso da biomassa da cana-de-açúcar para a geração de energia elétrica: análise energética, exergética e ambiental de sistemas de cogeração em sucroalcooleiras do interior paulista*. 2010, 131 p. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos.
- FACCIN, G. M. *A construção do regime ambiental internacional: mecanismo de desenvolvimento limpo e a cogeração de energia no setor sucroalcooleiro*. 2011, 138 p. Tese (Mestrado em Ciências Sociais) – Universidade Estadual Paulista – Marília.
- FERNANDES, A. V. B.; DÓREA, J. A. O.; AMORIN, J. R. R.; PEREIRA, S. M. B.; LEITE, M. S.; ARAUJO, P. J. P. *Aplicação de programação para redução de emissão de CO₂ pela queima de biomassa: cultura da cana-de-açúcar*. *Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnologia*, v.1, n. 16, p. 79-95, 2013.
- FODRA, M. *Viabilidade econômica da venda de energia elétrica de co-geração sob condições de risco: estudo de caso*. 2012, 125. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Marília.
- INSTITUTO ACENDE BRASIL. *Leilões no setor elétrico brasileiro: análise e recomendações*. White Paper – Instituto Acende Brasil, ed. 7. São Paulo: 2012.
- LEME, R. M. *Estimativa das emissões de poluentes atmosféricos e uso da água na produção de eletricidade com biomassa da cana-de-açúcar*. 2005, 160 p. Tese (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- LIMA, T. M. *Estudo energético do bagaço de*

diferentes variedades de cana-de-açúcar. 2011, 74 p. Tese (Mestrado em Química) – Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto.

- MIRANDA, M. M. *Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da Avaliação de Ciclo de Vida*. 2012, 164 p. Tese (Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos.
- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS. *Plano da operação energética 2013/2017 – PEN 2013*, v. 1, 2013.
- RICARDO, G. H. P. *Uso da biomassa da cana-de-açúcar para geração de energia elétrica*. 2010, 54 p. *Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica)* – Universidade de São Paulo, São Carlos.
- SANT ANNA, R. F. *Análise diagnóstica da cadeia produtiva de bioeletricidade a partir da biomassa da cana-de-açúcar*. 2013, 158 p. Tese (Mestrado em Agronegócio) – Universidade de Brasília – Brasília.
- SANTINI, G. A. PINTO, L. B. QUEIROZ, T. R. *Cana de açúcar como base da matriz energética nacional*. *Revista de Política Agrícola*, v. 20, n. 1, p. 89 – 99, 2011.
- SÃO PAULO. *Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. A produção mais limpa no setor sucroalcooleiro*. 2002.
- SILVA, R. I. *Avaliação de fontes alternativas para a geração de energia elétrica a partir da biomassa de palha da cana: uma abordagem por opções reais*. 2012, 77p. Tese (Mestrado em Administração de Empresas) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- SILVA FILHO, D. *Dimensionamento de usinas hidroelétricas através de técnicas de otimização evolutiva*. 2003, 362 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SOUZA, Z. J.; AZEVEDO, P. F. *Geração de energia elétrica excedente no setor sucroalcooleiro: um estudo a partir das usinas paulistas*. RER, n. 02, v. 44, p. 179-199, 2006.
- TUDESCHINI, L. G. *A bioeletricidade sucroenergética na diversificação da matriz energética brasileira: potenciais, barreiras e perspectivas*, 2009, 69 p. *Monografia (Bacharel em Ciências Econômicas)* – Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. *Bioeletricidade: A energia verde e inteligente do Brasil*, 2011.
- UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. *Histórico de Produção e Moagem, Safra 2013/2014*. 2014.

*Este trabalho foi originalmente apresentado no VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, realizado na cidade de Porto Alegre (RS), entre os dias 23 e 26 de novembro de 2015.

CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO

Acompanhe todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br

Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para redacao@atitudeditorial.com.br