

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CARLA GOMES DE ALBUQUERQUE

**POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA BIOMASSA RESIDUAL
DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA NO ESTADO DO PARANÁ**

**CURITIBA
2018**

CARLA GOMES DE ALBUQUERQUE

**POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA BIOMASSA RESIDUAL
DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA NO ESTADO DO PARANÁ**

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do Curso de Pós-Graduação em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti

**CURITIBA
2018**

Potencial de geração de energia a partir da biomassa residual da produção agrícola no estado do Paraná.

Carla Gomes de Albuquerque

RESUMO

O aumento do consumo de energia elétrica ocasionado pelo crescimento populacional mundial e avanço tecnológico observados nas últimas décadas torna a busca por fontes renováveis de energia um tema de grande interesse tecnológico e econômico. Dentre as possíveis candidatas, a biomassa residual resultante da produção agrícola destaca-se devido a disponibilidade de matéria prima e alto potencial na geração de energia. Entretanto, a aplicabilidade desta depende intimamente da espécie cultivada, como também da época do ano em que são realizadas suas colheitas. Neste cenário, o presente trabalho tem como objetivo estimar o potencial de geração de energia a partir do resíduo de biomassa de diversas espécies produtoras de grãos cultivadas no estado do Paraná, como também nas suas regiões individualmente. Para tanto, foram utilizadas bases de dados dos últimos dez anos para obter as informações de safra de grãos das culturas do milho, soja, aveia, trigo e cevada. A partir dessas, foi estimada a produção anual de biomassa residual, sendo possível então o cálculo do potencial de geração de energia. Concluiu-se que, no período estudado, o Paraná produziria uma média de 33.588,8 GWh de energia a partir desta fonte renovável, com maior contribuição do milho e da soja, sendo que as regiões Norte, Sul e Oeste do estado contribuíram com os maiores percentuais nesse quantitativo.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Fontes renováveis. Bioenergia.

Potential of energy generation from the residual biomass of agricultural production in the state of Paraná.

Carla Gomes de Albuquerque

ABSTRACT

The increase in electricity consumption due to world population growth and the immense technological advance observed in the last decades makes the search for renewable energy sources a topic of great technological and economic interest. Among the possible candidates, the residual biomass resulting from agricultural production stands out due to the availability of raw material and its high potential in energy generation. However, its applicability depends closely on the species cultivated, as well as their harvests seasons throughout the year. In this scenario, the present work aims to estimate the potential of energy generation from the biomass residue of several species of grain grown in the state of Paraná, as well as in its individual regions. To do so, data bases from the last ten years were used to obtain grain harvest information from corn, soybean, oat, wheat and barley crops. From these, it was estimated the annual production of residual biomass, then being possible the calculation of the potential of energy generation. It was concluded that, in the period studied, Paraná would produce an average of 33,588.8 GWh of energy from this renewable source, with a greater contribution of corn and soybean, being the North, South and West regions of the state that contribute the most.

Keywords: Climate change. Renewable sources. Bioenergy.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	2
2 METODOLOGIA	5
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	8
3.1 POTENCIAL TEÓRICO DE PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE.....	10
4 CONCLUSÕES	14
REFERÊNCIAS.....	15

1 INTRODUÇÃO

A demanda mundial por energia, principalmente elétrica, cresce acompanhando o crescimento populacional. Mesmo com variadas fontes de energia consideradas sustentáveis, a parcela de energia baseada em combustíveis fósseis ainda é muito significativa. Essas fontes, além de não serem renováveis, ocasionam emissão de gases de efeito estufa (GEE), os quais contribuem para o aquecimento global (Ambrósio, 2013).

Energia pode ser definida como a capacidade de realizar trabalho ou deslocar carga contra alguma força de resistência. Um exemplo pode ser a água contida numa barragem que, quando liberada, realiza trabalho através de seu potencial. Energias térmica, química, elétrica e nuclear podem se manifestar através de energia cinética ou potencial (da Silva *et al.*, 2017). Energia elétrica representa o fluxo de elétrons que se movimenta num fio condutor. Já o termo bioenergia pode ser entendido como a manifestação da energia em um organismo.

A biomassa, fonte primária de energia baseada em madeira e derivados, é um material rico em energia química primária proveniente da radiação solar pelo processo fotossintético. Através de suas ligações químicas, geram energia potencial proveniente da movimentação de seus átomos constituintes que, por sua vez, dão origem à energia química armazenada. Engloba resíduos florestais, agrícolas, animais e matéria orgânica dos resíduos industriais e domésticos. Recursos como florestas energéticas e resíduos florestais industriais, matérias da agropecuária tais como cana de açúcar, mamona, soja, algodão, dendê, gergelim, canola, esterco, cama de animais e resíduos agrícolas, resíduos agroindustriais e da indústria de alimentos e resíduos urbanos como lixo, esgoto, gordura e óleos de cozinha e dejetos orgânicos são considerados biomassa (da Silva *et al.*, 2017).

A energia contida em recursos como a biomassa pode ser liberada através da transformação em outros tipos de energia como a térmica ou elétrica. No entanto, a quantidade de energia proveniente desses materiais depende do seu poder calorífico que é a quantidade de energia, na forma de calor, liberada por combustão de uma unidade de massa.

Alguns países em desenvolvimento, como o Brasil, possuem grande potencial de aproveitamento de fontes renováveis para produção energética. Grandes áreas de terras agricultáveis e uma bacia hidrográfica diversa fazem com que o uso da

biomassa e da energia hidráulica sejam fontes de energia muito utilizadas. Em 2016, a participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira foi de 43,5%, sendo que a biomassa do bagaço de cana provê 17,5%, e a energia hidráulica, 12,6%, desse percentual (EPE, 2017). Cerca de 70% do potencial hidráulico do país está localizado nos maiores biomas brasileiros, Amazônia e Cerrado (Ferreira, Aragão e Barlow, 2014) e embora seja considerada uma fonte renovável, pode haver alguns problemas ambientais associados à ostensiva oferta da energia hidráulica. Além das emissões de GEE derivadas da construção de uma usina hidrelétrica, há inúmeros impactos tanto nos biomas locais quanto das populações ribeirinhas. Basear ostensivamente o sistema elétrico no potencial hidráulico gera grande dependência do regime pluviométrico o que pode ocasionar alguns problemas, como foi o caso nos anos 2013 à 2015 quando a pouca quantidade de chuvas fez com que houvesse necessidade de racionalização de energia em algumas grandes cidades do país.

Para suprir a demanda energética do período de estiagem, o país acabou investindo em energia termoelétrica baseada em carvão mineral, considerada tanto mais cara quanto mais poluente (Gomes, 2014). Já o processo de produção de energia a partir de biomassa também emite GEE, porém, no chamado ciclo fechado de carbono que ocorre quando o CO₂ emitido equivale ao absorvido pelas plantações das culturas utilizadas no processo. No entanto, há controvérsias quanto à produção de energia a partir de madeira e outras culturas já que há competição por água e terra com a produção de alimentos (Valdez-Vazquez, Acevedo-Benítez e Hernández-Santiago, 2010). Diante disso, os resíduos lignocelulósicos de espécies produtoras de grãos como matéria prima na geração de calor e eletricidade são uma alternativa e a eficiência de termoelétricas baseadas nesse tipo de material depende, principalmente, do potencial de produção de energia de cada cultura (Quirino, 2003).

Diversos trabalhos relatam o potencial de produção energética a partir de biomassa. No Brasil, as maiores fontes na geração de energia desse tipo são o bagaço de cana de açúcar, o eucalipto e os subprodutos da madeira (Tolmasquim, Guerreiro e Gorini, 2007). O bagaço, subproduto do beneficiamento da cana para produção de etanol, é usado comumente na geração de energia para suprir as necessidades das próprias companhias que produzem o combustível (Dantas, Legey e Mazzone, 2013). No entanto, a biomassa residual agrícola ainda é pouco relatada

na literatura como uma fonte expressiva para produção de energia. Resíduos de colheita como palhas, colmos, cascas e talos possuem expressivo potencial de uso para esse fim, mas, apesar disso, deve-se considerar que esse material desempenha importante papel na conservação do solo, na prática do plantio direto, promovendo ciclagem de nutrientes e gerando atividade microbiana (Tarkalson *et al.*, 2009; Kludze *et al.*, 2013; Leal *et al.*, 2013). No entanto, é relatado que a destinação de 25 a 30% da biomassa residual agrícola produzida é ambientalmente segura e tem pouco efeito sobre perdas no solo por erosão (Powers *et al.*, 2011) e de matéria orgânica (Andrews, 2006).

Além do poder calorífico, alguns fatores que influenciam no potencial energético da biomassa são a densidade, a quantidade de carbono fixo, materiais voláteis, cinzas e a relação celulose/lignina (Erol, Haykiri-Acma e Kuçukbayrak, 2010; Akkaya, 2009; Majunder *et al.* 2008; Moghtaderi, Sheng e Wall, 2006). Protásio *et al.* (2013) avaliaram esses fatores em alguns resíduos florestais e da agricultura e compararam seus desempenhos com combustíveis fósseis, encontrando características energéticas favoráveis, principalmente nos resíduos de colheita de café.

A produtividade de resíduos depende do local de cultivo, do clima e do solo da região (Cuiping *et al.*, 2004). Para promover decisões estratégicas a fim de implementar usinas de bioenergia, o levantamento de informações locais e a escolha correta de microrregiões é essencial (Okello *et al.*, 2013; Scarlat, Brujdea, Dallemand, 2011; Kingwell e Abadi, 2014), principalmente na tomada de decisões quanto à logística do processo e na disponibilidade espacial e temporal dos resíduos agrícolas de modo a favorecer o consumo da energia resultante no mesmo local onde a biomassa é produzida, evitando emissão de CO₂ com transporte.

De acordo com os dados da CONAB (2017) o estado do Paraná tem se destacado como o segundo maior produtor de grãos do país, em toneladas, ficando atrás somente do estado do Mato Grosso. Pierri *et al.* (2016) avaliaram a disponibilidade sazonal e espacial da biomassa de resíduos de colheita das principais culturas de grãos (milho, soja, cevada, aveia branca e aveia preta) nos Campos Gerais do Paraná, nas safras de 2008/2009 e 2009/2010. Estimaram em 4.185 GWh ano⁻¹ o potencial teórico de produção de energia elétrica a partir desse material bem como os municípios da região com maior potencial para instalação de termelétricas movidas a esses resíduos.

A geração de energia proveniente da biomassa residual agrícola pode ter bastante relevância, principalmente no cenário nacional, considerando o potencial agrícola do país, pois esse é um recurso bastante renovável em curto espaço de tempo, mantém o equilíbrio de CO₂ e utiliza área cultivada tanto para a produção de alimentos quanto para geração de energia (Cassman e Liska, 2007), promovendo, dessa forma, segurança energética e ambiental.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo geral: estimar o potencial teórico de produção de energia elétrica dos resíduos de colheita das espécies: milho, soja, aveia branca e aveia preta, trigo e cevada; e como objetivos específicos: avaliar a disponibilidade espacial de oferta de biomassa dos resíduos de colheita dessas culturas nas principais regiões do Estado do Paraná e identificar quais são as regiões com maiores potenciais para implementação de termelétricas movidas à biomassa residual.

2 METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido considerando os dados disponibilizados pela Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Paraná (SEAB, 2017). Foram analisados os dados de produção total de grãos, área colhida e produtividade das seguintes espécies: milho (*Zea mays* L.), soja (*Glycine Max* L. Merr.), aveia branca (*Avena sativa* L.) e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.), trigo (*Triticum aestivum* L.) e cevada (*Hordeum vulgare* L.). Consideraram-se as safras de 2007/2008, 2008/2009, 2009/2010, 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017.

Segundo a classificação de Köppen, o Estado do Paraná apresenta, na região do litoral, o clima do tipo Tropical Superúmido (Af), com temperatura média no mês mais quente acima de 22°C e superior a 18°C no mês mais frio, sem estação seca e sem geadas. Nas terras mais altas dos planaltos e das áreas de serra (Curitiba, Campos Gerais, Guarapuava, Palmas, etc) o clima é do tipo Subtropical Úmido (Cfb), com média de temperatura no mês mais quente inferior a 22°C e inferior a 18°C no mês mais frio, sem estação seca, verão brando e geadas severas e freqüentes. Já nas regiões Norte, Centro, Oeste e Sudoeste o clima é do tipo Subtropical Úmido (Cfa), com o mês mais quente do ano registrando temperatura

superior a 22°C e no mês mais frio, inferior a 18°C, sem estação seca definida, verão quente e geadas menos freqüentes.

No entanto, a delimitação geográfica do Estado foi feita considerando as seguintes regiões, que contêm as respectivas regionais da SEAB: Centro-oeste (Campo Mourão), Noroeste (Paranavaí e Umuarama), Norte (Apucarana, Cornélio Procopio, Ivaiporã, Jacarezinho, Londrina e Maringá), Oeste (Cascavel e Toledo), Sudoeste (Francisco Beltrão e Pato Branco) e Sul (Curitiba, Guarapuava, Irati, Laranjeiras do Sul, Paranaguá, Ponta Grossa e União da Vitória) (SEAB, 2017). Estas regionais não expressam exatamente a variação climática que ocorre no Estado, mas em geral os municípios delimitados se encontram no mesmo tipo climático. A utilização desta delimitação são com municípios limítrofes e próximos, o que, para este estudo, contribui para a análise dos dados, uma vez que a biomassa encontra-se dispersa nas áreas de produção de grãos e distâncias longas proporcionam aumento do custo de transporte, inviabilizando o seu uso.

Para o cálculo dos valores de produção e produtividade de biomassa residual considerou-se o índice de colheita (*IC*) de cada cultura (Tabela 1) representado como a biomassa aérea seca total da planta. Para o cálculo utilizou-se a seguinte equação (Equação 1) (Pierri *et al.*, 2016):

$$PBR = \frac{PG}{IC} - PG \quad (1)$$

Sendo:

PBR – produtividade de biomassa residual (kg ha⁻¹);

PG – produtividade de grãos (kg ha⁻¹) e

IC – índice de colheita.

TABELA 1 – Índice de colheita (*IC*) e poder calorífico superior (*PCS*) das culturas analisadas (PIERRI, 2016).

Cultura	<i>IC</i>	<i>PCS</i> (kcal kg ⁻¹)
Milho	0,49	4445,5
Soja	0,52	4397,7
Aveia-preta	0,25	4326,0
Aveia-branca	0,56	4326,0
Trigo	0,53	4134,8
Cevada	0,61	4134,8

Fonte: Pierri (2016).

O potencial energético da biomassa residual foi obtido através do valor do potencial calorífico superior de cada cultura apresentado na Tabela 1. O cálculo do valor de energia, em kWh ha⁻¹, realizou-se por meio da equação (Equação 2) representada a seguir (Ambrósio, 2013):

$$E = \frac{(PCS)}{C1} \cdot C2 \cdot Bs \quad (2)$$

Sendo:

E – Energia obtida com a queima da biomassa residual (kWh ha⁻¹);

PCS – Poder calorífico superior (Kcal kg⁻¹), definido como a energia disponível sem serem deduzidas as perdas energéticas por evaporação de água (Briane e Doat, 1985);

C1 – Coeficiente para transformar a unidade Kcal para kWh (1kWh=860 Kcal) (MME, 2012);

C2 – Eficiência média das caldeiras igual a 20% (Nogueira & Lora, 2003) e

Bs – Biomassa seca (kg ha⁻¹).

Os dados de produção (t), produtividade (kg ha⁻¹) e potencial energético de biomassa residual (kWh) foram calculados para as todas culturas considerando todas as safras, desde 2007/2008 até 2016/2017, para todas as regiões do estado, seguindo o modelo representado no exemplo abaixo, que apresenta os dados de produção, produtividade e energia da biomassa residual encontrados para a primeira safra de 2016/2017 do milho.

TABELA 2 – Valores de produção, produtividade e potencial energético calculado para a biomassa residual gerada a partir da colheita da 1ª safra de 2016/2017 do milho.

1ª safra Milho		2016/2017	
Região	Produção (t)	Produtividade (kg/ha)	Energia (kWh)
Centro-oeste	230.932	10.940	238.746.263
Noroeste	20.257	4.297	20.942.862
Norte	492.155	7.476	508.808.363
Oeste	319.374	10.628	330.181.231
Sudoeste	902.395	11.025	932.929.571
Sul	3.168.396	10.218	3.275.605.489

Fonte: O autor (2018).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O quantitativo da biomassa residual agrícola depende da espécie cultivada, das produtividades (Karaj et al, 2010), do local de cultivo e de variações climáticas e de solo (Cuiping *et al.*, 2004; Fowler *et al.*, 2009). Na última década, a região Sul do Brasil apresentou produtividade de grãos superior que as demais regiões desde a safra de 2014/2015, sendo que para o estado do Paraná os valores de produtividades ficaram acima dos nacionais. Desde a safra de 2007/2008, o Paraná tem sido, regularmente, o segundo maior estado do país em área cultivada, representando 15,9% do total no Brasil (CONAB, 2018), ficando atrás apenas do Mato Grosso. Por esse motivo a região mostra significativa produção de biomassa agrícola, uma vez que o índice de colheita das culturas varia em torno de 50% (Pierri, *et al.*, 2016).

Sendo o Paraná um estado com tipos de clima e solos diversos, os resultados obtidos indicam variação nas condições que favorecem o desenvolvimento agrícola e a produção e exploração energética da biomassa de culturas. Dentre as culturas estudadas, milho e soja contribuíram com o maior quantitativo de produção total de biomassa residual (Tabela 3). Em quase todas as regiões do Estado, excetuando-se a região Sudoeste e Centro-Oeste, onde houve maior produção de soja, o milho se destacou como a cultura com maior produção de biomassa e potencial de contribuição para geração de energia, mesmo com uma área média de cultivo menor em comparação com a soja nos anos analisados (Tabela 4). Na região Oeste, em 2012/2013, as duas culturas chegaram a representar 98,0% de toda a produção analisada para aquela região.

TABELA 3 – Produção média de biomassa residual ($.10^3$ t) desde as safras de 2007/2008 até 2016/2017 por região paranaense e por espécie.

Espécie	Região					
	Sul	Sudoeste	Oeste	Norte	Noroeste	Centro Oeste
Milho	3.685,1	1.337,1	4.126,5	4.151,7	640,5	1.740,6
Trigo	854,0	411,9	391,6	1.042,3	9,2	271,6
Soja	3.357,2	1.483,4	2.873,3	3.551,3	471,4	1.768,6
Cevada	102,8	5,6	0	1,08	0	0,01
Aveia Branca	56,9	5,4	3,2	23,5	0,3	10,9
Aveia Preta	268,1	56,6	76,7	44,9	4,2	107,1

Fonte: O autor (2018).

O trigo foi a principal fonte de biomassa entre os cultivos de inverno, enquanto a cevada, pela menor média de área (Tabela 4), a que menos produziu. Em seguida, a aveia preta, apesar de menor produção média em relação ao trigo, apresentou área de cultivo relativamente expressiva, principalmente na região Sul, o que contribui para o total de produção média dessa cultura ser maior nessa região (Tabela 3).

O cultivo da aveia visa principalmente a manutenção da cobertura do solo na época de inverno, o que pode promover aumento de rendimento para espécies cultivadas em épocas sucessivas. A aveia preta é uma dentre algumas espécies que podem ser semeadas logo após as colheitas de soja e milho e promove a manutenção da cobertura do solo, impedindo processos de erosão por meio do acúmulo de matéria seca e a ciclagem de nutrientes (Marques *et al.*, 2015), além de possuir importância na pecuária, pois auxilia na alimentação de animais em épocas de escassez de pastagens naturais (Ludwig, Maia, Corrêa, 2010).

Mesmo com um pequeno destaque para a produção das espécies de inverno na região sul em relação às outras regiões do estado, no geral, trigo, cevada, aveia preta e aveia branca contribuíram de forma muito menos expressiva para o quantitativo de biomassa residual devido à menor área colhida, em relação às culturas de verão (Tabela 4). O quantitativo de produção de biomassa residual para possível exploração para geração de energia das culturas avaliadas decresce de acordo com a sequência: milho, soja, trigo, aveia preta, aveia branca e cevada.

TABELA 4 – Média das áreas colhidas (ha), por espécie, por região do Paraná desde as safras de 2007/2008 até 2016/2017.

Espécie	Região					
	Sul	Sudoeste	Oeste	Norte	Noroeste	Centro Oeste
Milho	493.027	190.165	731.677	800.856	146.499	328.541
Trigo	256.143	164.002	153.217	468.426	4.226	108.777
Soja	129.367	537.837	983.429	1.290.257	187.057	617.050
Cevada	43.387	2.808	0	686	0	18
Aveia Preta	26.579	4.317	2.043	13.051	373	8.590
Aveia Branca	64.459	17.796	19.728	10.113	1.767	8.590
Total	1.012.962	916.925	1.890.094	2.583.389	339.922	1.071.566

Fonte: O autor (2018).

Dentre os fatores essenciais que devem ser considerados para o planejamento de termelétricas de biomassa, dois muito importantes são o clima da região e área de cultivo das espécies fornecedoras de matéria prima (Kingwell e Abadi, 2014). As regiões do Paraná que mais se destacam na produção de biomassa são Norte, Sul e Oeste, em ordem decrescente. Nos dez anos estudados, a safra de 2016/2017 foi a maior em produção de biomassa residual em todas as regiões do estado. Em 2017, as chuvas distribuídas de forma constante aumentaram a produtividade de grãos (IBGE, 2017) e conseqüentemente de biomassa. Na região Norte observa-se tanto maior colheita, $11,8 \cdot 10^6$ t, quanto um potencial de produção energético mais expressivo. Essa região destaca-se, principalmente, por disponibilizar uma área cultivada de 1.289.257 ha para a primeira safra da soja, enquanto a região Oeste, segunda região que mais produz o grão, não chega a cultivar um milhão de hectares dessa cultura.

Na região Noroeste foi onde ocorreu a menor produção de biomassa residual em todas as safras analisadas, não sendo produzida 2.000.000 de toneladas de biomassa residual em nenhum dos dez anos estudados. Já as regiões Sudoeste e Centro-Oeste do estado, juntas, produziram uma média de 3.599.543 t de biomassa por ano desde 2007/2008.

3.1 Potencial teórico de produção de eletricidade

Considerando o poder calorífico superior (PCS) das culturas avaliadas e o quantitativo de produção de biomassa residual encontrado no presente estudo, milho

e soja apresentaram potenciais de produção de energia superiores às demais culturas (Tabela 5). Estas duas espécies contribuíram com quase 90% do potencial médio disponível no período analisado.

TABELA 5 – Produção média de biomassa residual das espécies estudadas nas safras de 2007/2008 até 2016/2017, por região, e respectivos potenciais de produção de energia média.

Cultura	Produção média de biomassa (t)	GWh	% (GWh)
Milho	2.613.649	2.702,1	48,3
Trigo	496.806	477,7	8,5
Soja	2.247.572	2.290,9	40,9
Cevada	18.251	15,0	0,3
Aveia branca	16.707	16,7	0,3
Aveia preta	92.937	93,1	1,7

Fonte: O autor (2018).

A média do potencial teórico de produção de energia elétrica por região, com os resíduos agrícolas das seis culturas estudadas, foi estimado em aproximadamente 8.979, 8.475 e 7.644 GWh, para as regiões Norte, Sul e Oeste do Paraná, respectivamente (Tabela 6). Os potenciais de produção de energia elétrica a partir dos dados de colheita decrescem nas regiões estudadas da seguinte forma: norte > sul > oeste > centro oeste > sudoeste > noroeste.

TABELA 6 – Produção total média de biomassa residual das culturas avaliadas, por região, e potencial de geração de energia média desde a safra de 2007/2008 até 2016/2017.

Região	Produção total média de biomassa (t)	Potencial de geração energética (GWh)
Sul	8.324.228	8.475,1
Sudoeste	3.300.085	3.356,3
Oeste	7.471.323	7.644,8
Norte	8.814.910	8.978,8
Noroeste	1.125.859	1.155,4
Centro Oeste	3.899.001	3.978,3
Total	32.935.406,0	33.588,8

Fonte: O autor (2018).

O potencial teórico total de produção de energia do Estado, resultante da soma dos potenciais calculados em todas as regiões, na safra de 2016/2017 foi calculado em aproximadamente 41.334 GWh, o maior valor encontrado dentre os dez anos analisados (Gráfico 1). Este potencial representa 8,98% do consumo nacional de energia elétrica no ano de 2016. O Paraná poderia contribuir em 50,4% da demanda por energia elétrica da região sul naquele ano com o potencial teórico baseado nas culturas em questão (EPE, 2018).

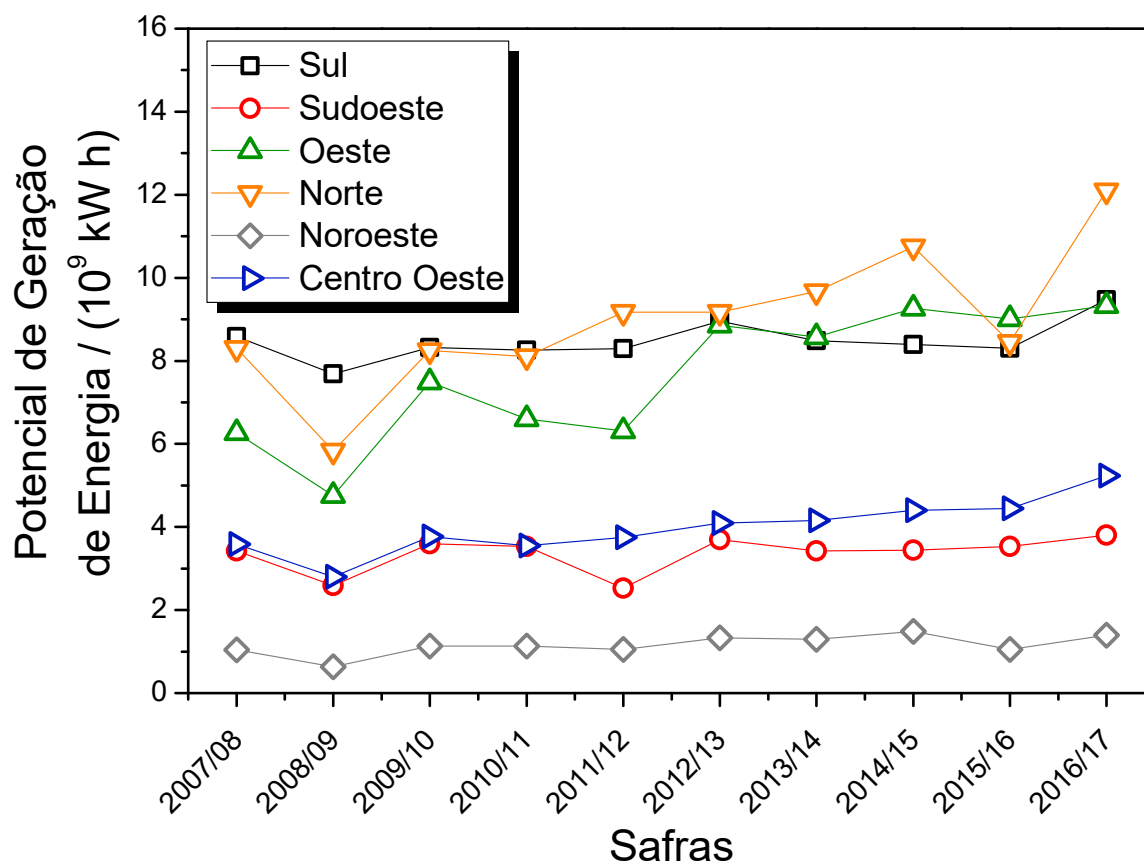
No entanto, ocorreram variações significativas no potencial de produção de energia em todas as regiões de uma safra para a seguinte e também no somatório de todo o estado, o que pode comprometer o desempenho das usinas dependendo de condições climáticas além de outros fatores que podem afetar a colheita de grãos de determinado ano (Tabela 7). Apesar dessas variações, o potencial encontrado para cada ano da década ainda teria capacidade de ser aproveitado caso uma usina termelétrica já estivesse implantada nas regiões (Gráfico 1).

TABELA 7 – Variação do potencial de produção energético calculado nas regiões do Estado do Paraná em comparação com a safra imediatamente anterior.

Variação (GWh)					
Região	2007/2008 - 2008/2009	2008/2009 - 2009/2010	2009/2010- 2010/2011	2010/2011- 2011/2012	2011/2012- 2012/2013
Sul	-891,5	629,7	-60,0	32,9	663,7
Sudoeste	-825,1	998,6	-61,0	-1.000,8	1.165,5
Oeste	-1.519,6	2.737,1	-882,7	-293,0	2.543,4
Norte	-2.467,3	2.412,5	-145,3	1.074,6	-4,5
Noroeste	-409,1	493,9	0,4	-75,5	274,9
Centro Oeste	-789,5	975,6	-222,4	203,9	345,5
TOTAL	-6.902,3	8.247,6	-1.371,4	-58,0	4.988,5
Região	2012/2013 - 2013/2014	2013/2014- 2014/2015	2014/2015- 2015/2016	2015/2016- 2016/2017	2016/2017- 2017/2018
Sul	-471,5	-89,7	-94,5	1.169,9	-
Sudoeste	-272,9	20,1	93,0	267,5	-
Oeste	-281,2	687,7	-255,6	319,1	-
Norte	498,9	1.074,5	-2.299,2	3.655,9	-
Noroeste	-31,9	190,0	-434,3	343,3	-
Centro Oeste	56,2	248,9	45,0	791,2	-
TOTAL	-502,3	2.131,6	-2.945,7	6.546,8	-

Fonte: O autor (2018).

GRÁFICO 1 – POTENCIAL PRODUÇÃO DE ENERGIA DE BIOMASSA RESIDUAL CALCULADO NAS REGIÕES DO ESTADO DO PARANÁ DA SAFRA DE 2007/2008 ATÉ 2016/2017.



Fonte: O autor (2018).

Contudo, as estimativas aqui descritas não consideraram a umidade dos resíduos nem a prática do plantio direto. O potencial total não poderia ser considerado plenamente para a construção de uma usina baseada em biomassa residual, pois nem toda a biomassa produzida pelas seis culturas seria disponibilizada para tal fim. Entre 25 e 30% da biomassa residual da colheita poderia servir para fins energéticos e o restante precisa ser mantido no solo para a manutenção do sistema diminuindo assim o potencial real de exploração (Powers *et al.*, 2011; Andrews, 2006).

A energia proveniente de biomassa pode ser obtida, entre outras formas, por: combustão direta em caldeira, afim de gerar calor e eletricidade; queima de carvão e biomassa simultâneas cujo intuito principal é diminuir a emissão de GEE; e o principal método que consiste na gaseificação, que produz um gás pouco calórico que serve para acionar turbinas acopladas a um gerador e, assim, produzir eletricidade (Moghtaderi, *et al.* 2006). A eficiência de conversão termelétrica pode

variar de 20 a 40% segundo Evans *et al.* (2010). No presente trabalho, o valor utilizado para os cálculos foi de 20%. Se considerada uma termelétrica de alta eficiência energética a produção líquida de eletricidade, a partir dos resíduos quantificados, poderia ser ainda superior aos valores calculados.

Há, basicamente, três tipos de usinas de bioenergia no Brasil: usinas com capacidade de produção de 1 a 3 kWh, que são típicas de pequenas comunidades; usinas aptas a produzir alguns MWhs e podendo atender comunidades maiores de algumas centenas de habitantes; e usinas com capacidade de produção de 5 a 10 MWh, essas últimas sendo usinas típicas baseadas em biomassa (Lora e Andrade, 2009). Considerando que a capacidade de produção de todas as regiões do estado situou-se em patamares de GWh, espera-se que todas apresentem capacidade de abrigar usinas desse último porte, mesmo se considerado o uso de um percentual inferior a 100% de todo o resíduo gerado.

Um sistema ideal para atender demandas regionais poderia conciliar consumo de energia proveniente de biomassa residual e outras fontes renováveis já difundidas (Ambec e Crampes, 2012). O Paraná apresenta condições vantajosas ao cultivo agrícola e por esse motivo pode se destacar no país quanto à exploração energética proveniente da biomassa da colheita de grãos, sem comprometer a segurança alimentar e a manutenção da qualidade do solo por meio do plantio direto, diversificando ainda mais a matriz energética renovável nacional.

4 CONCLUSÕES

O estado do Paraná se destaca no cenário nacional como potencial pólo de produção de energia de biomassa residual de colheita por ser grande produtor agrícola e, por conseguinte, possuir capacidade de abrigar usinas termelétricas baseadas em biomassa residual sendo que milho e soja são as culturas que mais se destacam tanto em produção de biomassa quanto no potencial de geração energética calculada devido aos elevados valores de potencial calorífico superior. Nas dez safras estudadas, o valor de potencial de produção energética média para o estado foi de 33.588,8 GWh da biomassa residual de todas as culturas analisadas. As regiões Norte, Sul e Oeste do estado são as mais propícias para abrigar as usinas, o que não descarta o potencial das demais regiões, que, mesmo obtendo

produção de biomassa e potencial de geração de energia menor, estariam aptas se consideradas construções de usinas de menor porte de forma a atender as demandas locais.

O aproveitamento do resíduo de colheita como fonte renovável na produção de energia elétrica evita a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, uma vez que o processo de produção energética emite CO₂ em ciclo fechado de carbono e, por esse motivo, corresponde às expectativas dos esforços que devem ser feitos a fim de desacelerar o aquecimento global e, por conseguinte, as mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

Agência IBGE notícias: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/10167-records-de-soja-e-milho-levam-estimativa-da-safra-2017-a-29-2-acima-de-2016.html>. (Acesso em 15/01/2018)

AMBEC, S., CRAMPES, C. **Electricity provision with intermittent sources of energy**. Resource and energy economics. 2012, v34, 319-336.

AKKAYA, A.V. **Proximate analysis based multiple regression models for higher heating value estimation of low rank coals**. Fuel processing technologies. 2009, 165-170.

AMBRÓSIO, R. **Potencial bioenergético da biomassa residual do milho e exportação de nutrientes considerando espaçamento entre linhas e adubação nitrogenada**. 2013. Dissertação – UFPR, Curitiba, PR, 2013.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Séries Históricas de Área Plantada, Produtividade e Produção, relativas às Safras 1976/77 a 2015/16 de Grãos**. Brasília: CONAB, 2017. Estimativa em dezembro de 2017.

DANTAS, G.A., LEGEY, L.F.L., MAZZONE, A. **Energy from sugarcane bagasse in Brazil: an assessment of the productivity and cost of different technological routes**. Renew Sustain Energy Ver, 2013, 21:356–364.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Anuário estatístico de energia elétrica. Consumo de energia elétrica na rede.** Ano 2016. Rio de Janeiro: EPE, 2017. Atualizado em 15/12/2017.

EROL, M., HAYKIRI-ACMA, H., KUÇUKBAYRAK, S. **Calorific value estimation of biomass from their proximate analyses data.** *Renewable energy*, 35(1), 170-173.

FERREIRA J., ARAGÃO, L., BARLOW, J. **Brazil's environmental leadership at risk.** *Science*, 2014 346(80):706–707.

GOMES, K. **Para evitar crise, Brasil precisa diversificar matriz energética.** In: *Deutsch Welle Bras.* <http://goo.gl/3bqdUf>. (Acessado em 20/11/2017).

KINGWELL, R., ABADI, A. **Cereal straw for bioenergy production in an Australian region affected by climate change.** *Biomass and Bioenergy*, 2014 61:58-65.

KLUDZE, H., DEEN, B., WEERSINK, A., VAN ACKER, R., JANOVICEK, K., De LAPORTE, A., McDONALD, I. **Estimating sustainable crop residue removal rates and costs based on soil organic matter dynamics and rotational complexity.** *Biomass and Bioenergy*, 2013, 56:607-618.

LEAL, M.R.L.V., GALDOS, M.V., SCARPARE, F.V., SEABRA, J.E.A., WALTER, A., OLIVEIRA, C.O.F. **Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: A literature review.** *Biomass and Bioenergy*, 2013, 53:11-19.

LORA, E.S., ANDRADE, R.V. **Biomass as energy source in Brazil, Renewable and Sustainable Energy Reviews.** 2009, 777-778.

LUDWIG, M.P., MAIA, M.S., CORRÊA, M.F. **Banco de sementes de aveia preta no solo sob dois sistemas de manejo.** *Ciência Rural*, 2011, v.41, n.1, 25-32.

MAJUMDER, A.K., JAIN, R., BANERJEE, P., BARNWAL, J.P. **Development of new proximate analysis based correlation to predict calorific value of coal.** *Fuel*, 2008, 3077-3081.

MARQUES, A.C.R., BASSO, L.J., MISSIO, E., KROLOW, R.H., BOTTA, R., RIGODANZO, E.L. **Uso de dejetos bovinos como forma de aumentar crescimento**

e produção de matéria seca do consórcio aveia preta e nabo forrageiro. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, 2015, v.5, n.2, 56-63.

MOGHTADERI, B., SHENG, C., WALL, T.F. **An overview of the Australian biomass resources and utilization technologies.** BioResources, 2006, 93-115.

OKELO C., PINDOZZI, S., FAUGNO, S., BOCCIA, L. **Bioenergy potential of agricultural and forest residues in Uganda.** Biomass and Bioenergy, 2013, 56:515-525.

PIERRI, L., PAULETTI, V., DA SILVA, D. A., SCHRAIBER, C. F., DE SOUZA, J. L., M., MUNARO, F. C. **Sazonalidade e potencial energético da biomassa residual agrícola na região dos Campos Gerais do Paraná.** Revista Ceres, 2016, v. 63, n.2, p. 129-137.

POWERS, S.E., ASCOUGH II J.C., NELSON, R.G., LAROCQUE, G.R. **Modeling water and soil quality environmental impacts associated with bioenergy crop production and biomass removal in the Midwest USA.** Ecological Modelling, 2011, 222:2430-2447.

PROTÁSIO, T.P., BUFALINO L., TONOLI, G.H.D, GUIMARÃES JUNIOR, M., TRUJILHO, P.F., MENDES, L.M. **Brazilian lignocellulosic wastes for bioenergy production: characterization and comparison with fossil fuels.** BioResources, 2013, 1166-1185.

QUIRINO, W.F. **Utilização energética de resíduos vegetais.** 1.ed. Brasília, IBAMA - Laboratório de Produtos Florestais, 2003. 31p.

SCARLAT, N., BLUJDEA, V., DALLEMAND, J.F. **Assessment of the availability of agricultural and forest residues for bioenergy production in Romania.** Biomass and Bioenergy, 2011 35:1995-2005.

Secretária de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná (SEAB). Departamento de Economia Rural. **Produção Agropecuária: Comparativo de área, produção e rendimento para as culturas.** Curitiba: SEAB, 2017. ATUALIZADO EM: 20/11/2017.

DA SILVA, D. A., OSHIRO, C. R., GALVAN, J., SOUZA, L. M. J. **Bioenergia e Tecnologia aplicada**. Curitiba, PR: UFPR, 2017.

TARKALSON, D.D., BROWN, B., KOK, H., BJORNEBERG, D.L. **Impact of removing straw from wheat and barley fields: a literature review**. Better Crops, 2009, 93:17-19.

TOLMASQUIM MT., GUERREIRO, A., GORINI, R. **Matriz energética brasileira**. Novos Estudos, 2007, 79:47–69.

VALDEZ-VALQUEZ, I., ACEVEDO-BENÍTEZ, J.A., HERNÁNDEZ-SANTIAGO, C. **Distribution and potential of bioenergy Resources from agricultural activities in Mexico**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010, 14:2147-2153.