

IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS AGRÍCOLAS DISPONÍVEIS NA REGIÃO SUL DO BRASIL

Pedro Rodrigo SILVA MOURA¹; Giovana DALPONT¹; Flávio BIANCHI MICHELS¹

¹Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina (SATC) – Centro Tecnológico de Carvão Limpo (CTCL), Rua Pascoal Meller, 73 – CEP 88805-380 – 362, Criciúma – SC Brasil

Email: pedro.moura1818@hotmail.com, giovana.dalpont@satc.edu.br, flavio.bianchi@satc.edu.br

RESUMO

A crescente demanda mundial por energia e o impacto das atividades antrópicas na geração de gases de efeito estufa, tornam a questão energética tema prioritário na agenda política do cenário mundial. A necessidade de produção de energia barata, limpa e segura, subordinada a urgência na otimização do uso dos recursos, coloca a biomassa, principalmente os materiais considerados resíduos, no foco da pesquisa mundial. A biomassa produzida a partir de resíduo agrícola pode ser classificada em dois grandes grupos: o material residual que fica no campo e aquele gerado durante o processamento dos grãos (indústria). O Brasil é um grande produtor de grãos e vem ampliando sua produção anualmente, devido ao aumento de produtividade e principalmente à disponibilidade de área para plantação. As lavouras que mais contribuem para a produção de resíduos são a cana de açúcar, soja, trigo, feijão e arroz. Este trabalho tem por objetivo identificar e quantificar o potencial energético dos resíduos agrícolas na região sul do Brasil, considerando a sazonalidade do combustível, bem como a complementariedade entre as diferentes culturas. O potencial energético das mesorregiões dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul para o ano base 2015, foi calculada através do levantamento da Produção Agrícola Municipal – PAM divulgada pelo IBGE, utilizando o coeficiente técnico de produção de resíduos no processamento dos grãos. Os resultados demonstraram que o potencial energético dos resíduos agrícolas na região sul do Brasil, para as culturas de milho, arroz, feijão, soja e trigo, no ano de 2015 foi 2.332 PJ (petajoules), indicando que há possibilidade de utilização deste combustível para geração de energia. Cabe destacar que o estudo desconsiderou outras possibilidades de uso para os resíduos.

Palavras-chave: Resíduos Agrícolas, Energia Limpa, Potencial Energético.

ABSTRACT

The global growing demand for energy and its impacts by anthropogenic activities on greenhouse gas generation make the energetic issue a priority on the political agenda of the worldwide scenario. The needs for a cheap, clean and safe energy production, subordinated by the urgency of optimizing the use of resources, places biomass, mainly the waste residues, in the focus of world research. Biomass produced from agricultural waste can be classified into two main groups: the residual material that remains in the field and that generated during grain processing (industry). Brazil is a big grain producer and has been increasing their production annually due the increase of productivity and mainly by availability of area for planting. The crops that most contribute to the production of waste are sugarcane, soybeans, wheat, beans and rice. This work aims to identify and quantify the potential energy of agricultural residues in the southern region of Brazil, considering the seasonality of the fuel, as well as the complementarity between different crops. The energy potential of the mesoregions of the states of Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul for the base year of 2015 was calculated by surveying the Municipal Agricultural Production (PAM) published by the IBGE, using the technical coefficient of waste production in processing of grains. The results showed that the energy potential of the agricultural residues in the southern region of Brazil for the corn, rice, beans, soybean and wheat crops in the year 2015 was 2,332 PJ (petajoules), indicating that it is possible to use this fuel for energy generation. It should be noted that the study disregarded other possibilities of use for these residues.

Key-Words: Agricultural Waste, Clean Energy, Energy Potential.

1 INTRODUÇÃO

O aumento do uso de fontes renováveis na matriz energética dos países desenvolvidos e em desenvolvimento tem sido motivado pela necessidade de minimizar a dependência energética de combustíveis fósseis, e consequente redução de emissão de gases de efeito estufa. A biomassa é uma das fontes de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos, sendo considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética.

A diversificação de fontes de energia confere maior estabilidade à matriz energética, apresentando menor vulnerabilidade a problemas com suprimento de energia.

O sul do Brasil, apresenta um enorme potencial de energia renovável, destacando-se dentre elas a biomassa agrícola. Por ser uma região de clima subtropical, grandes áreas cultiváveis, condições climáticas e solo favoráveis, a disponibilidade de massa vegetal, tem se tornado um depósito de energia que pode ser aproveitado, especialmente na forma de briquetes ou pellets (DIAS *et al.*, 2012). Segundo MARTINI (2009), a energia presente na biomassa pode ser convertida em combustíveis sólidos, líquidos e gasosos através de processos de conversão físicos, químicos e biológicos.

A principal vantagem do levantamento de resíduos locais é a promoção de informações que suportem decisões estratégicas, como a escolha de mesorregiões ou municípios, que apresentem logísticas favoráveis à instalação de plantas de bioenergia (SCARLAT *et al.*, 2011; KINGWELL & ABADI, 2014). Assim, é de suma importância para o planejamento da cadeia de suprimento de energia a partir da biomassa residual a avaliação de disponibilidade, devido a sua sazonalidade, provendo informações para o gerenciamento e a exploração dessa fonte energética (CORREL *et al.* 2014).

Diante do exposto, o diagnóstico do potencial energético de biomassa agrícola na região sul do Brasil (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), quantificando os principais tipos de biomassa e a complementariedade entre as diferentes culturas, tem por objetivo gerar subsídios para a elaboração de políticas que busquem promover alternativas de aproveitamento energético destes resíduos, minimizando os impactos ambientais decorrentes do uso de combustíveis fósseis, através do uso

combinado deste combustível com o carvão mineral, passa a ser de extrema importância.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com MCKENDRY (2002), a biomassa pode ser definida como toda matéria orgânica de origem vegetal, formada pelo processo de fotossíntese, ocorrendo na presença da luz solar.

O Brasil é um país onde o agronegócio participa ativamente da economia. A produção nacional de grãos da safra 2015/2016 chegou a 210,3 milhões de toneladas, segundo o 6º levantamento de safra da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), portanto 1,3% superior a safra 2014/2015, que foi de 207,7 milhões. Vale destacar a cultura de soja, o Brasil é o segundo maior produtor mundial destes grãos.

A região sul contribui significativamente para a produção agrícola do país, sendo a região que mais produz arroz em casca, e a segunda em relação à produção de soja e milho em grãos, participando com 81,25%, 34,22% e 28,78%, respectivamente, da produção nacional de acordo com a Produção Agrícola Municipal 2015 do IBGE.

A produção de grãos gera uma grande quantidade de biomassa residual, tanto no campo após a colheita, quanto nas indústrias de transformação como resultado do beneficiamento. Os resíduos provenientes do setor agrícola são pouco utilizados para geração de energia elétrica, sendo o mais corriqueiro a queima da casca de arroz em caldeiras para a secagem do próprio arroz.

Ao contrário da energia dos combustíveis fósseis, a biomassa é renovável e não contribui para o acúmulo de dióxido de carbono na atmosfera. Todo o CO₂ liberado durante a queima da biomassa é absorvido novamente no processo de fotossíntese para sua formação.

Segundo MOURAD *et al.*, (2004), a utilização da energia proveniente da biomassa tem dois aspectos de grande importância: a renovabilidade num espaço de tempo menor que o tempo de vida médio humano e a manutenção de equilíbrio de CO₂. A utilização da biomassa residual sempre concorrerá com a incorporação do resíduo no solo para a reposição de nutrientes.

A produção de resíduos agrícolas é variável, pois depende da espécie cultivada, do fim a que se

destina, das condições climáticas e da fertilidade do solo, entre outros.

De acordo com YOSHIKAWA (2009), os resíduos agrícolas em seu estado original, possuem como características a baixa densidade energética, grande volume para transporte, umidade elevada (em torno de 50%), disponibilidade sazonal, variabilidade e composição. Essas características podem gerar problemas no transporte, na manipulação, no armazenamento e na combustão.

O armazenamento deve ser adequado para garantir o fornecimento constante dos resíduos, evitando alterações nas características fundamentais (apodrecimento, fermentação) por meio de contato com microorganismos, permitindo a perda de umidade de forma natural e evitando a incorporação de materiais inorgânicos.

Conforme NONHEBEL (2007) as biomassas mais significativas com relação a energia, são aquelas obtidas de culturas energéticas e resíduos agrícolas. A utilização de culturas energéticas implica no uso do material vegetal obtido a partir de culturas especialmente cultivadas para este fim, tais como sistemas florestais.

3 A BIOMASSA NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

Qualquer matéria orgânica capaz de ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica é caracterizada como biomassa, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008). Pode ser de origem agrícola, como grãos; florestal, como a madeira; ou rejeitos urbanos e industriais.

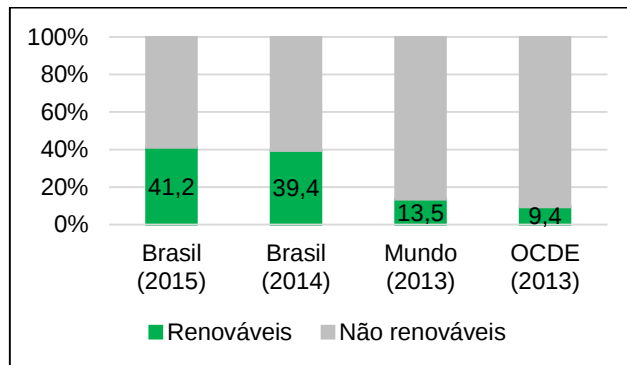
A utilização da biomassa tem como grande vantagem o aproveitamento direto por meio da combustão em fornos e caldeiras, e também a redução de impactos socioambientais. Apresentando como principal desvantagem eficiência reduzida, todavia adequação e/ou aperfeiçoamento de tecnologias de conversão podem melhorar a eficiência.

Por ser considerada uma fonte energética limpa, o interesse na utilização de biomassa ganhou espaço no mercado de energia, passando a ser considerada uma boa alternativa para a diversificação da matriz energética mundial.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) do ano de 2015, no Brasil 41,2% da energia gerada foi fornecida por fontes renováveis, como

mostra a Figura 1, cabendo a ressalva que grande parte desta produção se dá pela fonte de biomassa da cana de açúcar (16,9%).

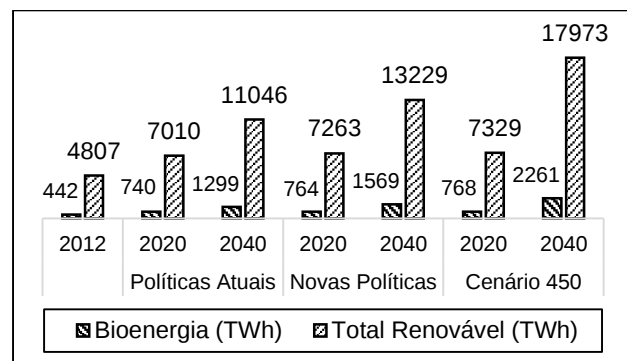
Figura 1 - Participação de renováveis na matriz energética brasileira – Ano base 2015



Fonte: Adaptado do BEN (2016).

Para evitar o aumento superior à 2°C na temperatura média na atmosfera da Terra a Agência Internacional de Energia (IEA) 2014 traçou três cenários para a oferta de energia: 1) manutenção das políticas atuais, 2) introdução de políticas de incentivos de fontes renováveis e mitigações de emissões, e 3) limitar a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera em 450 ppm. A geração de bioeletricidade conforme os cenários apresentados podem ser vistos na Figura 2.

Figura 2 - Geração elétrica de base renovável total e a biomassa no mundo em 2012 e nos cenários políticas, políticas atuais e cenário 450 ppm.



Fonte: Adaptado do IEA (2014).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) 2016, o Governo Federal vem implementando uma série de incentivos, com vistas ao aumento da

participação da energia a partir da biomassa na matriz energética nacional, com destaque para leilões de energia dedicados às fontes alternativas. Desde 2004, com a reestruturação ocorrida no setor elétrico nacional, a participação da biomassa tem aumentado neste segmento, uma vez que as políticas nacionais formuladas fomentaram a diversificação da geração elétrica, a adoção de um mercado competitivo descentralizado e a necessidade do uso mais racional da energia, ou seja, diminuindo os impactos ambientais das fontes energéticas nacionais.

Ainda de acordo com a EPE (2016), existem 517 empreendimentos termelétricos a biomassa em operação no país, totalizando aproximadamente

14GW de potência instalada. A biomassa da cana de açúcar, essencialmente o bagaço, é o principal combustível de 394 termelétricas, com uma potência de aproximadamente 11GW. Termelétricas a lixívia somam 17 empreendimentos, com 2,2GW de potência. Os poucos empreendimentos que consomem lenha de florestas energéticas, atualmente estão incluídos na categoria resíduos florestais. O restante da potência instalada utiliza resíduos de madeira, biogás, capim elefante, carvão vegetal e casca de arroz como combustível. A Tabela 1 quantifica os empreendimentos a biomassa, em operação, e a potência instalada por fonte.

Tabela 1 - Quantidade de usinas termelétricas a biomassa e potência instalada (MW), em operação no país, em janeiro de 2016.

Fonte		APE ¹	PIE ²	REG ³	Total
Bagaço	Unid.	71	206	116	394
	Potência (MW)	1.286	9.284	391	10.962
Lixívia	Unid.	10	5	2	17
	Potência (MW)	1.512	709	8	2.230
Resíduos florestais	Unid.	8	11	30	49
	Potência (MW)	147	166	70	383
GAF ⁴ a biomassa	Unid.	3	1	5	9
	Potência (MW)	89	10	16	115
Biogás - RU	Unid.	-	3	9	12
	Potência (MW)	-	53	25	78
Biogás - RA	Unid.	-	-	10	10
	Potência (MW)	-	-	2	2
Biogás - AGR	Unid.	-	-	2	2
	Potência (MW)	-	-	2	2
Capim elefante	Unid.	-	2	1	3
	Potência (MW)	-	64	2	66
Carvão vegetal	Unid.	1	1	1	3
	Potência (MW)	7	31	13	51
Casca de arroz	Unid.	1	3	8	12
	Potência (MW)	6	21	19	45
Óleos vegetais	Unid.	-	-	2	2
	Potência (MW)	-	-	4	4
Total Geral	Unid.	94	234	188	517
	Potência (MW)	3.048	10.337	553	13.939

Nota: ¹APE – Autoprodutor de energia; ²PIE – Produtor independente de energia elétrica; ³REG – Usinas sujeitas a registro; ⁴GAF – Gás de alto forno.

Fonte: Adaptado ANEEL (2016b).

O Banco de Informações de Geração (BIG) apresenta 45% dos empreendimentos como Produtores Independentes de Energia – PIE, ou seja, que podem comercializar energia. As demais

categorias não possuem autorização para comercialização de energia.

4 METODOLOGIA

A produção agrícola de soja, milho, trigo, arroz e feijão, ano base de 2015, nos municípios do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul foi extraída da base de dados agregados do IBGE, denominada Produção Agrícola Municipal – PAM. A quantidade de resíduo agrícola por cultura foi determinada através do “coeficiente técnico” definido em literatura, o qual expressa a quantidade de resíduo gerada em relação à quantidade de grãos produzida e comercializada (NONES, 2014).

Adicionalmente foi definida a complementariedade da safra de cada cultura, permitindo definir a disponibilidade da fonte energética por período.

O potencial energético foi determinado para a região geográfica do sul do Brasil, ou seja, estado do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, distribuídos em mesorregiões, conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Ressalta-se que o estudo apresenta o potencial total de resíduos, sem desconsiderar as quantidades de usos concorrentes ou que sua utilização possa ter impedimento de ordem operacional ou ambiental e também a parcela deixada no campo para ciclagem dos nutrientes e da matéria orgânica do solo.

A Tabela 2 apresenta a cultura agrícola, tipo de resíduo e etapa de produção na qual o resíduo é gerado, o respectivo coeficiente técnico e o poder calorífico inferior (PCI).

Tabela 2 - Cultura, tipo de resíduo, local de produção, coeficientes técnicos e PCI dos resíduos

Cultura	Resíduos	Coeficiente técnico (R)	PCI (Kcal/kg)
Arroz	Hastes e folhas (campo)	1,315 ²	3.819 ⁽¹⁾
	Casca (indústria)	0,22 ⁴	3.200 ⁽¹⁾
Milho	Caule, folhas (campo)	2,5 ¹	4.022 ⁽²⁾
	Sabugo (indústria)	0,6 ¹	4.405 ⁽³⁾
Feijão	Palhada e vagem (campo)	3,67 ²	3.898 ⁽⁴⁾
Soja	Palha (campo)	1,4 ³	3.421 ⁽³⁾
Trigo	Palha (campo)	1,4 ²	3.960 ⁽⁴⁾

Fonte: ¹DIAS *et al.* (2012); ²SOUSA *et al.* 2002; ³ABID (2011); ⁴NOGUEIRA E LORA (2002).

⁽¹⁾(MME: EPE, 2007); ⁽²⁾RAMOS E PAULA *et al.* (2011);

⁽³⁾NONES (2014); ⁽⁴⁾CUIPING *et al.* (2004).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS PELA PRODUÇÃO AGRÍCOLA NO SUL DO BRASIL

As Tabelas 3, 4 e 5 apresentam a quantidade de resíduo produzido e sua distribuição por mesorregião de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul para as culturas temporárias com maior produção de resíduos.

Ressalta-se que os dados representam a produção anual de 2015, e que possuíam o valor do coeficiente técnico na literatura.

Tabela 3 - Quantidade e localização dos resíduos das culturas temporárias em SC (em mil toneladas) em 2015

Mesorregião	Arroz	Feijão	Milho	Soja	Trigo	Total
Oeste	1	179	5.588	1.394	128	7.289
Norte	244	70	1.245	700	22	2.281
Serrana	117*	197	1.525	669	34	2.425
Vale Itajaí	354	26	705	33	2	1.120
Florianópolis	60	6	68	206*	7*	134
Sul	1.001	32	351	1	-	1.385
Estado	1.659	510	9.482	2.796	187	14.635

Nota: *Valores apresentados em toneladas.

Tabela 4 - Quantidade e localização dos resíduos das culturas temporárias no PR (em mil toneladas) em 2015.

Mesorregião	Arroz	Feijão	Milho	Soja	Trigo	Total
Noroeste	164	3	2.007	836	8	3.018
Centro Ocidental	480*	22	5.438	2.876	526	8.863
Norte Central	4	74	8.825	3.859	939	13.702
Norte Pioneiro	13	121	4.868	2.190	715	7.906
Centro Oriental	411*	483	2.649	2.480	686	6.299
Oeste	4	143	1.4995	4.270	585	19.997
Sudoeste	42	581	2.703	2.042	580	5.946
Centro-Sul	2	238	2.895	2.527	261	5.923
Sudeste	9	681	1.546	1.363	187	3.786
Curitiba	11	343	1.718	640	46	2.758
Estado	250	2.689	47.644	23.083	4.532	78.199

Nota: *Valores apresentados em toneladas.

Tabela 5 - Quantidade e localização dos resíduos das culturas temporárias no RS (em mil toneladas) em 2015

Mesorregião	Arroz	Feijão	Milho	Soja	Trigo	Total
Noroeste	52	164	9.842	13153	1.585	24.796
Nordeste	151	74	2.986	1424	146	4.782
Centro Ocidental	1.171	25	950	3011	120	5.277
Centro Oriental	787	56	1.817	1141	27	3.828
Porto Alegre	2.819	28	574	328	3	3.753
Sudoeste	5.823	3	351	2247	140	8.564
Sudeste	2.665	18	799	1179	20	4.681
Estado	13.467	368	17.319	22.484	2.041	55.680

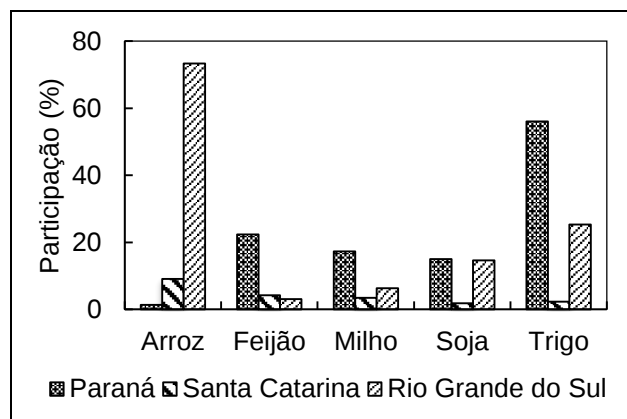
No estado de Santa Catarina as mesorregiões oeste catarinense, norte catarinense e serrana, são as que mais produziram resíduos em 2015. A cultura do milho contribui com 64,78% da quantidade de resíduos produzidos.

No Paraná, o potencial de resíduos é bem distribuído, apresentando elevada produção nas mesorregiões oeste, norte central, centro ocidental, norte pioneiro, sudoeste e centro-sul, destacando o oeste paranaense e norte central paranaense, com a produção das maiores quantidades. A cultura com maior produção de resíduos em 2015 foi o milho, responsável por 60,92%, seguida pela soja com 29,52% do potencial.

No Rio Grande do Sul as mesorregiões que mais se destacaram foram a noroeste, sudoeste e centro ocidental rio-grandense. O resíduo da cultura da soja é o responsável pelo maior potencial de resíduos no estado, com 40,38%, seguido pelo milho com 31,10%.

A produção nacional de resíduos da safra 2015/2016 chegou a aproximadamente 468 milhões de toneladas, considerando as culturas de arroz, feijão, milho, soja e trigo. A participação da disponibilidade de energia primária a partir dos resíduos agrícolas no sul do Brasil na produção nacional é mostrada na Figura 3. O estado do Rio Grande do Sul é o que apresenta maior potencial energético a partir de resíduos agrícolas devido a produção de arroz, concentrando 73% da produção nacional. Em seguida vem o Paraná, basicamente por conta da produção de trigo. Dentre os estados avaliados Santa Catarina apresenta os menores potenciais.

Figura 3 - Participação dos resíduos agrícolas dos estados do sul do Brasil na produção nacional



5.2 POTENCIAL ENERGÉTICO TEÓRICO DOS RESÍDUOS AGRÍCOLAS

O cálculo do potencial energético térmico dos resíduos agrícolas foi determinado conforme a equação [Eq. 01].

$$\text{Pot.} = (P \times R) \times \text{PCI} \times 1000 \dots\dots [\text{Eq.01}]$$

Onde:

Pot. [kJ] – Potencial energético gerado a partir de resíduos agrícolas no ano de 2015;

P [toneladas] – Produção total da cultura com resíduo;

R [toneladas de resíduos/tonelada de produção] – Coeficiente técnico;

PCI [kJ/kg] – Poder calorífico inferior;

1000 – Fator de conversão (toneladas para quilogramas).

O potencial energético determinado refere-se a energia térmica disponível no resíduo agrícola, portanto, antes de qualquer processo de conversão.

A seguir é apresentada a Tabela 6 que indica os potenciais energéticos de cada cultura por mesorregião em cada Estado. Percebe-se que o milho é a cultura mais expressiva em relação a produção de resíduos de toda a região Sul. É importante observar, ainda, que as mesorregiões contribuem de forma diferente, umas mais expressivamente do que outras.

Tabela 6 - Potencial energético (GJ) dos resíduos agrícolas na região sul do Brasil

Mesorregião/SC	Arroz	Feijão	Milho	Soja	Trigo	Total
Oeste	11	2.918.704	98.495.686	19.947.296	2.127.645	123.489.341
Norte	3.580	1.148.436	21.948.373	10.017.736	360.349	33.478.474
Serrana	2	3.212.292	26.879.529	9.577.628	569.560	40.239.010
Vale Itajaí	5.192	429.040	12.422.506	469.153	37.648	13.363.539
Florianópolis	883	91.937	1.205.945	2.947	118	1.301.831
Sul	14.701	521.037	6.189.833	10.930	0	6.736.500
Mesorregião/PR						
Noroeste	2.408.041	56.443	35.386.225	11.966.007	124.633	49.941.348
Centro Ocidental	7.056	362.062	95.862.323	41.166.570	8.719.900	146.117.911
Norte Central	57.507	1.213.917	155.568.210	55.241.483	15.557.970	227.639.086
Norte Pioneiro	189.089	1.970.123	85.801.762	31.347.007	11.840.749	131.148.730
Centro Oriental	6.041	7.883.965	46.696.009	35.496.618	11.366.667	101.449.301
Oeste	61.339	2.327.397	264.312.325	61.122.647	9.694.298	337.518.005
Sudoeste	611.720	9.469.761	47.642.448	29.222.075	9.604.576	96.550.580
Centro-Sul	28.404	3.876.142	51.030.449	36.174.425	4.328.368	95.437.788
Sudeste	129.531	11.105.355	27.252.148	19.512.018	3.092.735	61.091.787
Curitiba	167.876	5.590.506	30.284.743	9.155.675	761.458	45.960.258
Mesorregião/RS						
Noroeste	760.142	2.678.626	173.489.572	188.264.355	26.254.930	391.447.625
Nordeste	2.224.475	1.203.263	52.643.221	20.382.389	2.421.654	78.875.002
Centro ocidental	17.199.769	408.988	16.737.712	43.102.110	1.980.274	79.428.852
Centro Oriental	11.553.573	919.191	32.030.300	16.333.994	447.966	61.285.024
Porto Alegre	41.393.948	464.414	10.122.364	4.693.616	56.721	56.731.064
Sudoeste	41.393.948	48.123	6.183.658	32.159.966	2.324.109	82.109.804
Sudeste	39.132.300	287.064	14.085.277	16.882.584	329.477	70.716.703
Região Sul	157.349.128	58.186.786	1.312.270.618	692.249.229	112.001.805	2.332.057.563

De acordo com a Tabela 6, a quantidade de energia térmica que pode ser gerada a partir dos resíduos agrícolas considerados no estudo é de 2.332 PJ.

No sul do Brasil, a maior contribuição da produção total de energia está associada a cultura do milho e à soja, contribuindo com 86% de toda energia térmica. O milho foi a maior cultura na região Sul, apesar de ter a menor área cultivada, apresenta a maior produção de resíduo, e consequente maior potencial geração de energia térmica a partir de seus resíduos.

Comparando a quantidade de energia térmica disponível no resíduo agrícola das culturas avaliadas, *in natura*, com a quantidade de energia térmica disponível no produto carvão energético (CE 4500), utilizado em usinas termoeletricas. O CE 4500 possui poder calorífico superior (PCS) médio de 4500 kcal/kg.

Como referência utilizamos a disponibilidade de energia térmica do resíduo agrícola do estado de Santa Catarina igual a 218,6 PJ. Portanto, a disponibilidade de energia térmica proveniente de resíduos agrícolas em Santa Catarina é equivalente a 11.610.829 toneladas de carvão CE4500.

A que se considerar que os valores acima referem-se à disponibilidade térmica, desconsiderando o percentual de umidade dos resíduos, além do fato de que se trata da disponibilidade total, ou seja, de toda biomassa produzida pelas cinco culturas e a eficiência térmica de conversão.

Na Figura 4 é apresentado o mapa com a disponibilidade do potencial energético proveniente da biomassa agrícola por mesorregião em cada Estado. Podendo ser analisado a proporção (tamanho dos círculos) e a distribuição (culturas agrícolas) nos estados.

Figura 4 - Disponibilidade dos resíduos da biomassa agrícola no sul do Brasil, ano base 2015.

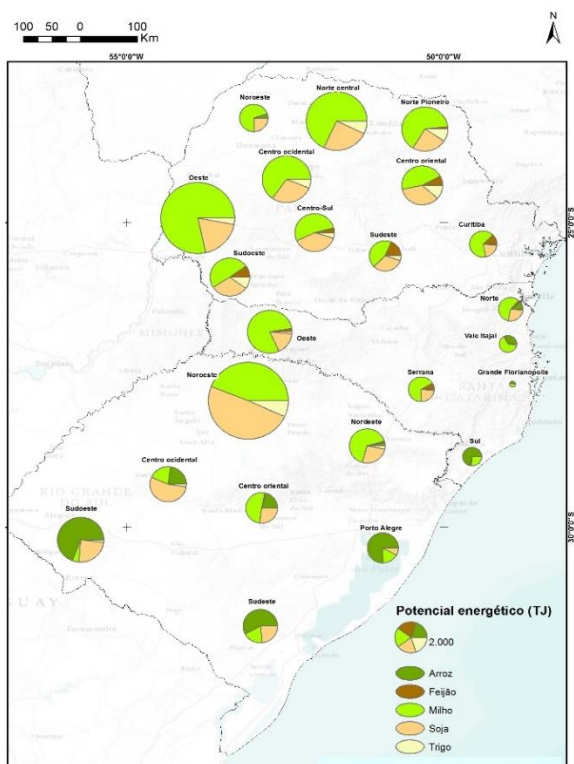


Figura 6 - Calendário de plantio e colheita das culturas agrícolas do Paraná

Cultura	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Arroz												
Milho												
Feijão ¹												
Feijão ²												
Soja												
Trigo												

Legenda: ■ plantio ■ colheita. ¹primeira safra; ²segunda safra.

Fonte: Conab

Figura 7 - Calendário de plantio e colheita das culturas agrícolas do Rio Grande do Sul

Cultura	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Arroz												
Milho												
Feijão ¹												
Feijão ²												
Soja												
Trigo												

Legenda: ■ plantio ■ colheita. ¹primeira safra; ²segunda safra.

Fonte: Conab

5.3 SAZONALIDADE DAS BIOMASSAS AGRÍCOLAS

A biomassa agrícola é caracterizada pela disponibilidade sazonal. Os problemas introduzidos pela sazonalidade podem ser evitados, pela combinação de diferentes tipos de biomassa considerando a complementariedade na disponibilidade das mesmas. Nas figuras 5, 6 e 7 encontra-se o calendário da colheita das principais culturas agrícolas no estado do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, de modo a visualizar o período de disponibilidade do resíduo.

Figura 5 – Calendário de plantio e colheita das culturas agrícolas de Santa Catarina

Cultura	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Arroz												
Milho												
Feijão ¹												
Feijão ²												
Soja												
Trigo												

Legenda: ■ plantio ■ colheita. ¹primeira safra; ²segunda safra.

Fonte: Conab

O período de tempo em que estes resíduos estão disponíveis é bastante limitado e é definido pelo período de colheita e condições meteorológicas. No sul do Brasil, por exemplo, a colheita de arroz é realizada entre os meses de janeiro e maio, implicando na possibilidade de coleta da palha apenas neste período.

A maior disponibilidade de resíduos, no ano base 2015, ocorreu entre fevereiro e maio (Figuras 5, 6 e 7), intervalo em que a maior parte das áreas de milho e soja é colhida. Outro período de grande oferta de resíduos é durante a colheita das espécies de inverno (trigo), nos meses de outubro, novembro e dezembro.

De acordo com EVANS *et al.*, (2010), a concentração na produção e, conseqüentemente, na oferta de biomassa, evidencia a importância do planejamento da disponibilidade de resíduos vegetal utilizada como insumo em caldeiras, a fim de otimizá-la. Portanto, são necessárias alternativas para contornar a falta de biomassa agrícola, durante alguns meses do ano, como a estocagem *in natura*, em briquetes ou *pellets* (HÖLDRICH *et al.*, 2009; CORRELL *et al.*, 2014), ou, ainda, a combustão simultânea da biomassa com carvão mineral, durante a entressafra (MATSUMURA *et al.*, 2005).

Conforme cita KINGWELL & ABADI (2014) a variação de clima e de área de cultivo das culturas reflete diretamente na oferta de biomassa e deve ser considerado no planejamento das termelétricas a longo prazo.

6 CONCLUSÕES

O sul do Brasil é um grande produtor agrícola gerando expressiva quantidade de resíduos nos processos resultantes da colheita e beneficiamento das culturas de milho, arroz, feijão, soja e trigo.

A geração de resíduos oriundos das culturas tendo como base a produção do ano 2015, para o sul do Brasil foi de 148.514 mil toneladas de resíduos agrícolas. Resultando no potencial total de energia térmica nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul de 1.293, 218,6, e 820 PJ, respectivamente.

A cultura do milho foi a que apresentou o maior potencial no sul do Brasil, responsável por 56,27% da produção total, seguido pela soja com 29,68%.

Diante do exposto, as perspectivas para uso dos resíduos agrícolas, como elementos capazes de diversificar a matriz energética do Brasil, com utilização sustentável de pequeno e médio porte, é bastante promissor na região sul. As mesorregiões oeste catarinense, centro ocidental paranaense, norte central paranaense e oeste paranaense, noroeste rio-grandense e sudoeste rio-grandense são as mais propícias para a instalação de termelétricas movidas a biomassa, ou em utilização combinada com carvão, por apresentarem maior produção e melhor distribuição sazonal dos resíduos.

Todavia, a que se considerar a necessidade de melhorias e/ou adequação de processos de conversão ao combustível obtido a partir do resíduo agrícola, ou a utilização deste em conjunto com o carvão mineral, com a consequente redução de emissão de gases de efeito estufa.

7 REFERÊNCIAS

ABIB – Associação Brasileira de Indústrias de Biomassa. Brasil biomassa e energia renovável. 2011. Disponível em <<http://pt.calameo.com/read/000200968cc3a949579a0>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Atlas de energia elétrica do Brasil 3. Ed. Brasília: ANEEL, 2008.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informação sobre Geração (BIG). 2016b. Disponível em <www.aneel.gov.br> Acesso em: 15 mar. 2017.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Terceiro Levantamento da Safra 2013/2014. Acompanhamento da Safra Brasileira. Disponível em <www.conab.gov.br>. Acesso em: 13 abr. 2017.

CORRELL D, SUZUKI Y & MARTENS BJ Logistical supply chain design for bio economy applications. **Biomass and Bioenergy**, 66:60-69. 2014.

CUIPING, L.; CHUANGZHI, W.; YANYONGJIE, HAITAO, H. Chemical Elemental Characteristics of Biomass Fuels in China. **Biomass and Bioenergy**, v.27, p.119-130, 2004.

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

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Energia Renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/Documents/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-20Online%2016maio2016.pdf>> Acesso em: 16 mar. 2017.

EVANS A, STREZOV V & EVANS T J. Sustainability considerations for electricity generation from biomass. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 14:1419-1427. 2010.

HÖLDRICH A; EPP C & WITZELSPERGER J. Feasibility study for mixed biomass pellets production in the German sample region: Straubing, Bavaria. Munich. **Renewable Energies**. 20p. 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal 2015. Disponível em <<https://sidra.ibge.gov.br/home/ipca/brasil>> Acesso em: 15 mar. 2017.

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

MARTINI, P. R. R. **Conversão Pirolítica de Bagaço Residual da Indústria de Suco de Laranja e Caracterização Química dos Produtos**. Santa Maria, 2009. Originalmente apresentado como dissertação de mestrado em química, Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

MATSUMURA Y, MINOWA T & YAMAMOTO H. Amount, availability, and potential use of rice straw (agricultural residue) biomass as an energy resource in Japan. **Biomass and Bioenergy**, 29:347-354. 2005.

Ministério de Minas e Energia – Balanço Energético Nacional 2016. Disponível em < https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2016_Web.pdf > Acesso em: 16 mar. 2017.

MOURAD, ANNA L.; AMBROGI, V. S. e GUERRA, S. M. G. **Potencial de utilização energética de biomassa residual de grãos**. In: An. 5. Encontro de Energia no Meio Rural (AGRENER-GD), UNICAMP: Campinas-SP, 2004.

MCKENDRY, P. Energy Production from Biomass (Part 1): Overview fo biomass. In: **Bioresource Technology**, No.83, p.37-46, 2002.

MME – Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética 2007: Ano base 2006, relatório final / Ministério de Minas e Energia – Rio de Janeiro: EPE, 2007.

NOGUEIRA, L. A. H., LORA, E. E., 2002, **Wood Energy: Principles and Applications**, Núcleo de Excelência em Geração Termoelétrica Distribuída – NEST, do Instituto de Engenharia Mecânica – IEM, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI.

NONES, D. L. **Cadeia produtiva de pellets e briquetes de biomassa residual para geração de energia em Santa Catarina**. Lages, 2014. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 124 f, 2014.

NONHEBEL, S. Energy from agricultural residues and consequences for land requirements for food production. **Agricultural Systems**. Holanda: Elsevier, v. 94, p. 586–592, 2007.

RAMOS E PAULA, L. E; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M. L. **Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation**. Cerne Lavras, v. 17, n. 2, p. 237-246, 2011.

SOUZA, SAMUEL N. M; SORDI, ALEXANDRE; OLIVA, CARLOS A. **Potencial de Energia Primária de resíduos Vegetais no Paraná**. Campinas, AGRENER – 4º Encontro de Energia no Meio Rural, 2002.

SCARLAT N, BLUJDEA V& DALLEMAND JF (2011) Assessment of the availability of agricultural and

forest residues for bioenergy production in Romania. **Biomass and Bioenergy**, 35:1995-2005

_____. Technology Roadmap: Energy storage. International Energy Agency (IEA). Paris. 2014.

YOSHIKAWA, N. K. Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável: “Valorização dos Resíduos da Indústria do Alcool (biomassa) para Geração de Energia Renovável”. Workshop: Inovação e Sustentabilidade na Indústria Química Brasileira. Rio de Janeiro, 2009.