

# Concentration and Clusters of Black Liquor Thermolectric Plants in Brazil

Luiz. M. Coelho Junior, Edvaldo P. Santos Júnior, Anna M. M. Nunes, Álvaro N. de Souza, Luís A. C. Borges and Flávio J. Simioni

**Abstract**—This paper analyzed the concentration and conglomerates of black liquor thermolectric plants in Brazil, in 2018. Data from the generation information system of the National Electric Energy Agency (ANEEL) were used. Concentration was measured using the Concentration Ratio [ $CR(k)$ ], Herfindahl-Hirschman Index ( $HHI$ ), Theil Entropy ( $E$ ) and the Gini Coefficient ( $G$ ) and the conglomerates with the scan statistics. The results showed the southern region with the largest number of thermolectric plants and installed power. The state concentration of thermolectric plants and the installed power for the  $CR(k)$  was moderately high to very high, inferring an oligopolistic market structure. In turn, the  $HHI$  and  $E$  indices inferred an atomized market. Among the participating companies, the  $CR(k)$  and  $G$  indicators showed trends in concentration, while  $HHI$  and  $E$  indicated to an atomized market. Four conglomerates were identified, two for the number of thermolectric plants and two for installed power. High supply potential was noted in the south of the country and in the south of the northeast region. This research showed way the distribution of bioelectricity supply of black liquor in Brazil. The identification of concentration and conglomerates showed that the offer was associated with the industrial complexes of cellulose and paper, from cogeneration with residual black liquor; which can indicate to investors the importance of this practice and the most relevant location for installation, contributing to the increase of distributed generation and diversification of the national electrical matrix.

**Index Terms**—Concentration indicators, Energy economy, Forest economy, Regional and spatial studies.

## I. INTRODUÇÃO

A crescente demanda energética global, a finitude dos combustíveis fósseis e a necessidade do desenvolvimento com menor impacto ambiental, tornou a biomassa uma alternativa energética. A biomassa florestal é o recurso energético mais antigo utilizado pela humanidade. Seu aproveitamento energético acompanhou o progresso tecnológico, evoluindo na finalidade e obtenção, seja na geração de calor, força motriz e eletricidade [1]–[4].

L. M. Coelho Junior is with Department of Renewable Energy Engineering, Federal University of Paraíba, João Pessoa, Brazil (email: luiz@cear.ufpb.br).

E. P. Santos Júnior and A. M. M. Melo are with Graduate Program in Renewable Energy (PPGER), Federal University of Paraíba, João Pessoa, Brazil.

A. N. de Souza is with Department of Forestry Engineering, University of Brasília, Brasília, Brazil.

L. A. C. Borges is with Department of Forest Sciences, Federal University of Lavras, Lavras, Brazil.

F. J. Simioni is with Department of Environmental Engineering, State University of Santa Catarina, Lages, Brazil.

No Brasil, a oferta de bioeletricidade vem do aproveitamento dos resíduos industriais, como ocorre com o bagaço de cana de açúcar no setor sucroalcooleiro e com o licor negro na indústria de celulose e papel. Ressalta-se que as empresas de grande porte e com elevada eficiência energética geram eletricidade excedente, sendo comercializado no mercado regulado, no mercado livre e de curto prazo [5, 6].

Os subprodutos industriais florestais são utilizados para geração elétrica e calor de processo. Segundo a Associação Brasileira dos Fabricantes de Celulose e Papel – BRACELPA [7], as tecnologias com relevância estão relacionadas a produtividade, a qualidade da celulose e no aproveitamento energético dos resíduos do próprio processo produtivo [8]. Em 2018, a indústria de celulose e papel brasileira utilizou 64% da demanda energética suprida pelo licor negro, 18% com biomassa residual florestal, 13% como gás natural, 3% com óleo combustível e 2% com outras fontes [9].

Até 2020, de acordo com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL [10], o Brasil apresentou oferta interna de eletricidade outorgada em 203,36 GW, com 82,74% obtidos de fontes renováveis (63,26% da hidroeletricidade, 9,02% da energia eólica, 8,76% da biomassa e 1,70% da energia solar). Para a biomassa, o potencial de outorga foi de 15,23 GW e 2,53 GW (16,66%) obtido a partir do licor negro, que se destaca entre produtos florestais para geração de eletricidade.

O uso energético da biomassa do licor negro está associado às plantas das indústrias de celulose e papel. O acesso fácil da matéria-prima reduz custos e impacta positivamente no aproveitamento energético e na localização, resultando em polos industriais. De acordo com Yi et al. [11], a concentração é um ponto central da organização industrial, na qual reside estudos na estrutura de mercado. Um elevado grau de concentração promove o controle de recursos ou atividades econômicas no mercado e implica numa baixa concorrência entre os participantes [12], [13]. No setor energético, algumas características como a alta intensidade de capital, barreiras à entrada e a possibilidade limitada de armazenamento de potência tornam-se necessários à compreensão da concentração [14], [15].

Os conglomerados espaciais são os agrupamentos das firmas em um determinado local. De acordo com Garcia [16] a existência de conglomerados industriais ocorre devido à grande demanda localizada e/ou condições favoráveis. Para medir e avaliar a estrutura espacial existem diferentes métodos de análises, como: os modelos de detecção de clusters; a inferência bayesiana e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Entre os modelos de detecção de clusters, a estatística scan é uma boa ferramenta de análise [17].

Pode-se citar alguns ensaios de análise de concentração, tais como Smaniotto e Alves [18] e Berger, Minnis e Sutherland [19] para o setor bancário. No setor elétrico foram de Busu [14] analisando a concentração da oferta de eletricidade da biomassa na Romênia; Chalvatzis e Ioannidis [20] que avaliaram a concentração energética utilizadas pela União Europeia e Ioannidis et al. [21] que estimaram a diversidade e a concentração do fornecimento de energia para 44 ilhas no mundo.

Para identificação de conglomerados no setor florestal destacaram-se os trabalhos de clusters de incêndios florestais de Tonini, Tuia e Ratle [22] na Flórida – EUA, Orozco [23] na Suíça, Pereira et al. [24] em Portugal e Randolph [25] observou as zonas de desmatamento nos EUA. Já Coelho Junior et al. [26] avaliaram a concentração e conglomerados de termelétricas de biomassa florestal no Brasil.

Kaminski [15] destacou que o setor energético é um dos segmentos que tendem a ser altamente concentrados e, por esta razão, a mensuração da estrutura de mercado e a identificação dos conglomerados devem ser realizadas para auxiliar investidores e orientar as políticas públicas. Chalvatzis e Ionnidis [20] destacaram que os índices de concentração geram informações pertinentes para análise da segurança energética e benchmarking industrial.

Considerando a elevada necessidade energética nacional de forma mais limpa e a busca por compreender o mercado da bioeletricidade florestal a partir do licor negro para matriz elétrica nacional, este trabalho analisou a concentração e os conglomerados das termelétricas de licor negro no Brasil, em 2018.

## II. MATERIAL E MÉTODOS

### A. Dados Utilizados

A base de dados da quantidade de termelétricas e potência instalada (Mega Watts - MW), a partir do licor negro estão disponíveis no Sistema de Informações de Geração da ANEEL [10] e as informações foram extraídas em setembro de 2018. As coordenadas geográficas das termelétricas foram coletadas no Google Maps [27] e elaborou-se mapas com o QGIS 3.6.0®.

Realizou-se uma análise de conjuntura a partir da distribuição espacial das termelétricas e os quartis da potência instalada a partir do licor negro nos estados brasileiros. Os intervalos de potência instalada (MW) foram classificados em: primeiro quartil ( $Q_1$ ) baixa, valor de uma quarta parte ( $0\% \leq Q_1 \leq 25\%$ ); no segundo quartil ( $Q_2$ ) média, que coincide com a mediana ( $25\% < Q_2 \leq 50\%$ ); terceiro quartil ( $Q_3$ ) alta, valor da terceira quarta parte ( $50\% < Q_3 \leq 75\%$ ); e no quarto quartil ( $Q_4$ ) muito alta, valor da quarta parte ( $75\% < Q_4 \leq 100\%$ ) [28].

### B. Medidas de Concentração e Desigualdade

Para determinar a concentração industrial foram utilizadas as seguintes medidas: a Razão de Concentração; o Índice Herfindahl-Hirschman; a Entropia de Theil; e o Índice de desigualdade de Gini. Para tanto, utilizou-se a quantidade e a potência instalada das termelétricas de licor negro, nos estados

brasileiros. Também, foi analisada a concentração entre as termelétricas, com base na potência instalada.

### C. Razão de Concentração [CR(k)]

A Razão de Concentração [CR(k)] se situa a partir da ordenação decrescente da k ( $k = 1, 2, \dots, n$ ) participação dos estados ou empresas, conforme (1), desenvolvida por Bain [12].

$$CR(k) = \sum_{i=1}^k S_i \quad (1)$$

Em que,  $S_i$  é a participação dos estados com termelétricas (quantidade e potência instalada) e da potência instalada das empresas que utilizam licor negro.

Foram calculados a concentração dos quatro [CR(4)] e oito maiores [CR(8)] estados e empresas, classificados conforme a Tabela I. Neste estudo, também utilizou-se o principal [CR(1)] e os dois maiores [CR(2)].

TABELA I

CLASSIFICAÇÃO DA RAZÃO DE CONCENTRAÇÃO DAS QUATRO MAIORES [CR(4)] E DAS OITO MAIORES [CR(8)] TERMELÉTRICAS OU ESTADOS COM OFERTA A PARTIR DO LICOR NEGRO.

Nível de concentração	Quatro maiores	Oito Maiores
Muito Alto	$CR(4) \geq 75\%$	$CR(8) \geq 90\%$
Alto	$65\% \leq CR(4) < 75\%$	$85\% \leq CR(8) < 90\%$
Moderadamente Alto	$50\% \leq CR(4) < 65\%$	$70\% \leq CR(8) < 85\%$
Moderadamente Baixo	$35\% \leq CR(4) < 50\%$	$45\% \leq CR(8) < 70\%$
Baixo	$CR(4) < 35\%$	$CR(8) < 45\%$

Fonte: [12].

### D. Índice de Herfindahl – Hirschman (HHI)

O Índice Herfindahl-Hirschman (HHI) (2), tem como base o somatório da participação ao quadrado dos estados com termelétricas (quantidade ou potência instalada) e/ou empresas ( $S_i^2$ ), com o licor negro. O HHI varia entre  $1/n$  (limite inferior) e 1, onde  $n$  é o número de participantes. Assim,  $1/n$  é indicação de um mercado atomizado e 1, situação de monopólio [29], [30].

$$HHI = \sum_{i=1}^n S_i^2 \quad (2)$$

Resende [31] sugeriu o HHI ajustado ( $HHI'$ ) (3), para estimativas comparativas e associação de intervalo entre 0 e 1 para o índice. Para valores de  $HHI' < 0,10$  identifica-se mercado atomizado,  $0,10 \leq HHI' \leq 0,15$  mercado não concentrado, de  $0,15 \leq HHI' \leq 0,25$  moderadamente concentrado e  $HHI' > 0,25$  alta concentração [32].

$$HHI' = \frac{1}{n-1} (n * HHI - 1); n > 1 \quad (3)$$

### E. Índice de Entropia de Theil (E)

Proposto por Theil [33], o índice de Entropia de Theil (E) teve como base a teoria da informação e é empregado em diversas áreas para análise de estruturas de mercado. Segundo Resende [31], a E (4) pode ser considerada uma medida de concentração inversa.

$$E = \sum_{i=1}^n S_i \ln(S_i) \quad (4)$$

Em que,  $S_i$  é a participação  $i$  dos estados com termelétricas (quantidade e potência instalada) e da potência instalada das

empresas, que utilizam do licor negro;  $n$  é o número de estados ou empresas e  $\ln$  é o logaritmo neperiano.

A  $E$  varia entre 0 e  $\ln(n)$ , sendo 0 para condições de monopólio e  $\ln(n)$  para um mercado homogêneo. Analogamente ao  $HHI$ , Resende [31], sugeriu um ajuste na Entropia ( $E'$ ) (5), para ajustar os intervalos de  $E' = 0$  para concentração máxima e  $E' = 1$  para concentração mínima.

$$E' = -\frac{1}{\ln(n)} \sum_{i=1}^n S_i \ln(S_i) \quad (5)$$

#### F. Coeficiente de Gini ( $G$ )

O Índice de Gini ( $G$ ) foi proposto por Gini [34] e, na sua origem, foi uma medida para verificar a desigualdade social com base na renda populacional. Atualmente, o  $G$  (6) vem sendo aplicado em diferentes áreas do conhecimento e pode ser utilizado para medir a desigualdade da oferta de eletricidade a partir do licor negro por empresas ou estados (quantidade e potência instalada).

$$G = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_{ij} + S_i)}{n} \quad (6)$$

Em que,  $n$  é o número de estados ou empresas;  $S_{ij}$  é a participação cumulativa  $i$  dos estados com termelétricas (quantidade e potência instalada) e da potência instalada das empresas que utilizam do licor negro;  $S_i$  é a participação  $i$  dos estados com termelétricas (quantidade e potência instalada) e da potência instalada das empresas que utilizam do licor negro.

O  $G$  pode ser classificado como de desigualdade nula a fraca (0,000-0,250), desigualdade fraca a média (0,251 – 0,500), desigualdade média a forte (0,501 – 0,700), desigualdade forte a muito forte (0,701 – 0,900) e desigualdade muito forte a absoluta (0,900 – 1,000) [34].

#### G. Estatística Scan

Na estatística scan utilizou-se uma análise puramente espacial para alta conglomeração, com base no modelo probabilístico de Poisson e no método da máxima verossimilhança, sob uma região  $Z$ , dividida em sub-regiões  $m$ . Os parâmetros foram: a zona candidata a cluster ( $z$ ) no Brasil, a probabilidade da termelétrica de licor negro estar no interior de ( $p$ ) ou fora ( $q$ ) de  $z$ . A Equação (7) é a hipótese nula ( $p = q$ ) da função de verossimilhança ( $L_0$ ) [35].

$$L_0 = \frac{e^{-C}}{C!} \left(\frac{C}{N}\right)^C \prod_{j=1}^m n(j) \quad (7)$$

Em que,  $C$  é a quantidade de termelétricas ou potência instalada a partir do licor negro, no Brasil,  $C!$  é o fatorial do valor da quantidade de termelétricas ou da potência instalada a partir do licor negro,  $n$  é a quantidade de termelétricas ou potência instalada total (biomassa) e  $n(j)$  é a quantidade de termelétricas ou potência instalada total no interior de cada sub-região  $m$ . A Equação (8) é a hipótese alternativa ( $p > q$ ) dada pela função de verossimilhança [ $L(z,p,q)$ ] [35].

$$L(z, p, q) = \frac{e^{[-pm(z)-q(N-n(z))]} p^{C(z)} q^{C-C(z)}}{C!} \prod_{j=1}^m n(j) \quad (8)$$

Em que,  $n(z)$  é a quantidade de termelétricas ou potência instalada total em  $z$ ,  $C(z)$  é a quantidade de termelétricas ou

potência instalada a partir do licor negro em  $z$ . A Equação (9) representa a razão de verossimilhança  $LR(z)$ .

$$LR(z) = \frac{L(z, p, q)}{L_0} = \begin{cases} \left(\frac{C(z)}{\mu(z)}\right)^{C(z)} \left(\frac{C-C(z)}{\mu(z)}\right)^{C-C(z)}, & \text{se } \frac{C(z)}{\mu(z)} > 1 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

Em que,  $\mu_z$  é o valor esperado da quantidade de termelétricas ou potência instalada do licor negro em  $z$ , sob a hipótese nula.

Utilizou-se o logaritmo ( $\log [LR(z)] = LLR(z)$ ) para estabilizar a variância e associou-se às janelas circulares com 25% das termelétricas ou potência instalada total em  $z$  ser do licor negro. Os resultados de  $LLR(z)$  foram confrontados via simulações de Monte Carlo (9.999 replicações), a uma significância menor que 5% ( $p < 0,05$ ) (10) [17], [36].

$$value\ p = \frac{Ranking}{(1 + \#replicações)} \quad (10)$$

Em que, o Ranking é a classificação do  $LLR(z)$ . O risco relativo (11) das termelétricas ou da potência instalada de base licor negro estar no interior de um cluster [35].

$$RR = \frac{i / E[i]}{(C-i) / (E[C] - E[i])} \quad (11)$$

Onde,  $E[C]$  é a esperança matemática da quantidade de termelétricas ou potência instalada a partir do licor negro;  $i$  é a quantidade de termelétricas ou potência instalada a partir do licor negro dentro do cluster;  $E[i]$  é a esperança matemática da quantidade de termelétricas ou potência instalada a partir do licor negro dentro do *cluster*.

As características dos clusters identificados foram avaliados por meio do centroide do conglomerado, do raio  $R$  (km), do valor observado (Obs.), do valor esperado (Esp.), do risco relativo (RR), do  $LLR$  e do valor  $p$  ( $p$ -value).

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 1 apresenta a distribuição espacial das termelétricas a licor negro nas regiões brasileiras e os quartis da potência instalada nos estados, em 2018. Foram registradas 18 termelétricas para o licor negro, com 2.542,26 MW de capacidade instalada. O Sul se destacou em termelétricas (33,33%) e potência instalada (30,31%), resultado da elevada concentração de indústrias de celulose e papel na região, as quais fornecem licor negro para bioeletricidade, como evidenciado por Oliveira et al. [37].

A região Nordeste participou com 27,32% da potência instalada, obtida a partir de 4 termelétricas. Destacou-se para a região, o polo industrial de celulose e papel do extremo Sul da Bahia, conforme apontado por Marques [38]. Em seguida, esteve o Centro – Oeste, com todas as termelétricas instaladas no estado do Mato Grosso do Sul, somando 670,68 MW instalados (26,38%). O Sudeste e o Norte apresentaram 4 e 1 termelétricas, respectivamente, com potência instalada de 351,60 MW (13,83%) na região Sudeste e apenas 55,00 MW (2,16%) no Norte do país.

Na Fig. 1a observou-se oferta a partir do licor negro em dez estados brasileiros, sendo Mato Grosso do Sul (3 termelétricas), Bahia (3 termelétricas) e Santa Catarina (3 termelétricas) os de maior número de empreendimentos, 16,67% cada.

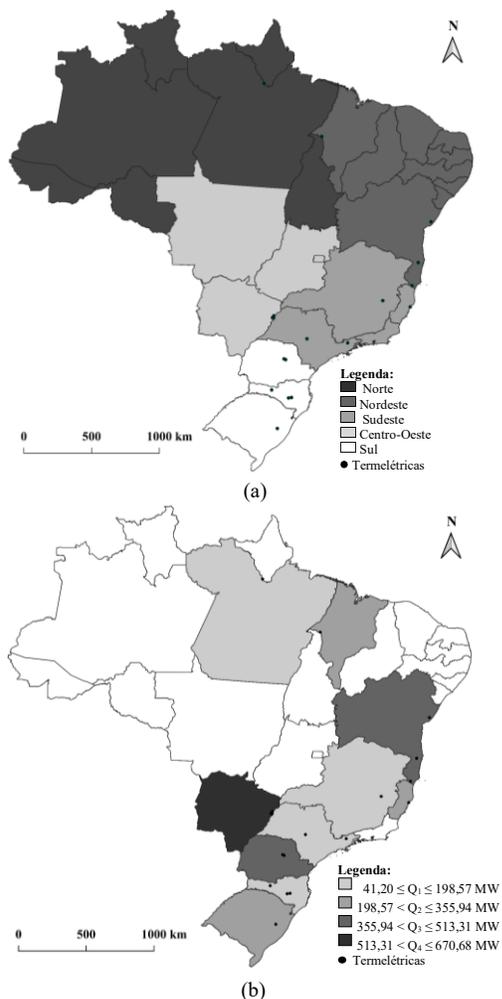


Fig. 1. Distribuição espacial das termelétricas a licor negro nas regiões brasileiras (a) e os quartis da potência instalada nos estados (b), em 2018. Fonte:[10].

Para a potência instalada, Fig. 1b, o quartil 1, de menor oferta, apresentou os estados de Minas Gerais, com 100 MW ofertados pela Cenibra; Santa Catarina (76,53 MW) (Klabin Correia Pinto e Celulose Irani), Pará (55,00 MW) (Jari Celulose) e São Paulo (41,20 MW) (Lwarcel e Nobecel). Para o Q<sub>2</sub> estiveram o Maranhão (254,84 MW), com a Suzano Maranhão; o Rio Grande do Sul (250,99 MW), com a CMPC; e o Espírito Santo (210,40 MW), a partir da Aracruz. O Q<sub>3</sub> apresentou os estados do Paraná (443,25 MW), com as térmicas Klabin Celulose (330,00MW) e Klabin (113,25 MW), e o estado da Bahia (439,72 MW), onde destacaram-se as termelétricas Suzano Mucuri (214,08 MW), Veracel (117,04 MW) e Bahia Pulp (108,60 MW). O Mato Grosso do Sul, foi o único estado para o Q<sub>4</sub>, com 670,68 MW instalados (26,38%), a partir das empresas: Eldorado Brasil (226,00 MW), Fibria MS-II (269,58 MW) e a Fibria MS (175,10 MW).

A Tabela II apresenta os indicadores de concentração da quantidade e potência instalada (MW) das termelétricas de licor negro para os estados brasileiros, em 2018. Para a quantidade de termelétricas, o CR(1) não pôde estabelecer o principal estado, tendo em vista que a Bahia, o Mato Grosso do Sul e Santa Catarina possuem três termelétricas cada. Para o CR(2) de 39,29% mantiveram-se os mesmos estados do CR(1). O

CR(4) foi de 61,11%, sendo os estados participantes: Bahia, Mato Grosso do Sul, Santa Catarina e os estados do Paraná ou São Paulo, os quais dividem a quarta posição; de acordo com Bain [12], o nível de concentração foi moderadamente alta. O CR(8) de 88,89% apontou concentração muito alta. Apenas a região Norte não apresentou participantes para o índice.

TABELA II  
INDICADORES DE CONCENTRAÇÃO DA QUANTIDADE E POTÊNCIA INSTALADA (MW) DAS TERMELÉTRICAS DE LICOR NEGRO PARA OS ESTADOS BRASILEIROS, EM 2018.

Índice	Qde.	Pot. Inst.	Índice	Qde.	Pot. Inst.
CR(1)	16,67%	26,38%	HHI'	0,0261	0,0663
CR(2)	33,33%	43,81%	E	2,1870	2,0073
CR(4)	61,11%	71,13%	LS	2,3026	2,3026
CR(8)	88,89%	96,22%	E'	0,9498	0,8718
HHI	0,1235	0,1597	G	0,4778	0,5605
LI	0,1000	0,1000	n	10	10

Legenda: Qde. = quantidade; Pot. Inst. = potência instalada; CR(k) = Razão de Concentração; HHI = Índice de Herfindahl-Hirschman ; LI = Limite Inferior; HHI' = Índice de Herfindahl-Hirschman ajustado; E = Índice Entropia de Theil; LS = Limite Superior; E = Índice Entropia de Theil ajustado; G = Índice de Gini; n = número de estados.

Com 10 estados participantes, o HHI apresentou valor de 0,1235, enquanto o LI foi de 0,100, apresentando um mercado bem distribuído. O HHI' de 0,0261 atribuiu características de mercado atomizado, seguindo a classificação de Resende [32]. O E de 2,1870 e o LS de 2,3026 corroborou com a interpretação do HHI', evidenciando um cenário desconcentrado, afirmado também pela E' (0,9498). O G por sua vez apresentou uma desigualdade fraca a média (0,4778), mantendo a classificação de que as termelétricas apresentam distribuição igualitária entre os estados participantes.

Para a potência instalada, o CR(1) de 26,38% apontou o estado do Mato Grosso do Sul como principal estado para a oferta. O CR(2) de 33,33%, acrescentou o estado do Paraná. Silva et al. [39] evidenciaram uma elevada demanda das indústrias do estado paranaense, colaborando com o resultado apresentado. O CR(4) (71,13%) foi complementado pelos estados da Bahia e Maranhão, com destaque para as termelétricas do grupo Suzano; o CR(8) foi 96,22%, indicando concentração alta e muito alta, respectivamente.

O HHI (0,1597) teve alta proximidade do LI (0,1000) apontando não haver concentração e o HHI' (0,0663) caracterizou um mercado atomizado. O E (2,0073) apresentou alta proximidade do LS (2,3026) e colaborou com a inferência dada pelo HHI. O G (0,5605) inferiu uma desigualdade de média a forte. Observou-se concentração superior para a potência instalada, comparando-se com a quantidade de termelétricas.

A Tabela III apresenta os indicadores de concentração da potência instalada das termelétricas de licor negro, no Brasil, em 2018. O CR(1) apresentou participação de 12,50%, para Klabin Celulose, de Ortigueira – PR, a qual foi responsável pela maior oferta de bioeletricidade do país. Para o CR(2) foi acrescentada a termelétrica Fibria MS – II, localizada no Mato Grosso do Sul, as duas empresas somaram participação de 23,58% da capacidade nacional. O CR(4) apresentou valor de 43,48% e teve concentração moderadamente baixa. Para Scherer e Ross [40], quando o CR(4) ultrapassa 40% do mercado de determinado produto, sua estrutura é oligopolista. Por fim, o CR(8) (75,95%) apresentou as termelétricas: El

Dourado Brasil (MS), Suzano Mucuri (BA), Aracruz (ES) e Fibria MS (MS), completando as oito maiores empresas em potência instalada do país. Conforme a classificação de Bain [12] houve concentração moderadamente alta.

TABELA III  
INDICADORES DE CONCENTRAÇÃO DA POTÊNCIA INSTALADA DAS  
TERMELÉTRICAS DE LICOR NEGRO NO BRASIL, EM 2018.

Índice	Valor	Índice	Valor
$CR(1)$	12,98%	$HHI'$	0,0291
$CR(2)$	23,58%	$E$	2,6045
$CR(4)$	43,48%	$LS$	2,8904
$CR(8)$	75,95%	$E'$	0,9011
$HHI$	0,0830	$G$	0,6166
$LI$	0,0588	$n$	18

Legenda:  $CR(k)$  = Razão de Concentração;  $HHI$  = Índice de Herfindahl-Hirschman;  $LI$  = Limite Inferior;  $HHI'$  = Índice de Herfindahl-Hirschman ajustado;  $E$  = Entropia de Theil;  $LS$  = Limite Superior;  $E'$  = Entropia de Theil ajustada;  $G$  = Índice de Gini;  $n$  = número de empresas.

Hora et al. [8] ressaltaram que o setor industrial de celulose e papel tem impacto direto na oferta de bioeletricidade do licor negro, pois grande parte das empresas nacionais são autossuficientes para eletricidade, em razão disso os maiores grupos do setor dominam grande parte da oferta nacional, a exemplo da Klabin e Suzano.

O  $HHI$  e  $LI$  apresentaram diferença de 0,0242, com  $HHI'$  de 0,0291, que representaram mercado atomizado. Os índices  $E$  e  $LS$ , auxiliado com  $E'$  (0,9011), indicaram características de concorrência para o setor. O coeficiente de Gini com 0,6166 caracterizou o mercado como desigualdade média a forte.

A Fig. 2 apresenta os *clusters* da quantidade e potência instalada de termelétricas de licor negro no Brasil, em 2018. Para o número de termelétricas observou-se dois *clusters* (Fig. 2a), o primeiro entre o Nordeste e Sudeste, justificado pelo polo industrial de celulose e papel no sul da Bahia e o segundo englobando todos os estados da região Sul do país, onde foram encontradas 35,3% das térmicas de licor negro, a grande maioria com uso dos resíduos de seus processos industriais.

Compuseram o *cluster*  $I_{qde.}$  2 termelétricas no estado da Bahia (Suzano Mucuri e Veracel), 1 termelétrica no Espírito Santo (Aracruz) e 1 termelétrica em Minas Gerais (Cenibra). Para o *cluster*  $2_{qde.}$  foram: 2 termelétricas do Paraná (Klabin e Klabin Celulose), 3 termelétricas em Santa Catarina (Klabin Otacílio Costa, Klabin Correia Pinto e Celulose Irani) e 1 termelétrica no Rio Grande do Sul (CMPC).

A conglomeração na região Sul justificou-se pela associação com a elevada produção de florestas plantadas e a consequente existência de serrarias e indústrias de celulose e papel da região. Broughel [41] destacou que além de políticas públicas, a consolidação do setor de celulose e papel é indispensável para utilização da biomassa florestal para geração de energia.

Observou-se, também, o domínio do grupo Klabin sobre a quantidade de termelétricas no *cluster*  $2_{qde.}$ , apontando que, embora não haja concentração entre as termelétricas, alguns grupos empresariais tendem a ter domínio sobre a oferta a partir do licor negro, como sugerido na análise dos indicadores de concentração industrial.

A Fig. 2b mostrou os *clusters* para oferta a partir do licor negro, os quais apresentaram os mesmos centroides da quantidade de termelétricas.



Fig. 2. *Clusters* da quantidade (a) e potência instalada (b) de termelétricas de licor negro, no Brasil, em 2018.

Para o *cluster*  $I_{pot.}$  centrado em Mucuri – BA, a oferta observada foi de 641,52 MW, distribuído em: 33,37% para Suzano Mucuri (214,08 MW), 32,80% para Aracruz (210,40 MW), 18,24% para a Veracel (117,04 MW) e 15,59% para Cenibra (100,00MW). Mattos e Valença [42] também identificaram influência do segmento de celulose e papel na região próximo ao conglomerado. O *cluster*  $2_{pot.}$  teve potência instalada de 440,07 MW, a qual esteve dividida: 56,94% para a CMPC (250,99 MW), 25,69% para Klabin (113,25 MW), 8,59% para Klabin Otacílio Costa (33,74 MW), 7,66% da Klabin Correia Pinto (37,88 MW) e 1,11% da Celulose Irani (4,90 MW).

A Tabela IV apresenta as características dos *clusters* da quantidade e potência instalada das termelétricas de licor negro no Brasil, em 2018. Para a quantidade de termelétricas, o *cluster*  $I_{qde.}$  centrado em Mucuri – BA, apresentou raio de 296,81 km e 4 termelétricas em seu interior. O risco relativo, consideravelmente alto, apontou importância da bioeletricidade do licor negro, levando em consideração todas as outras formas de geração de eletricidade a partir da biomassa florestal. Cabe

ressaltar que o risco relativo (RR) indicou que há 4,21 mais chances de que uma termelétrica da biomassa florestal localizada nesta região, seja do licor negro. O *p* valor não apontou significância estatística para o *cluster*  $I_{qde}$ . ( $p > 0,05$ ), porém dado o baixo número de termelétricas de licor negro e da população (termelétricas da biomassa florestal), esses valores devem ser observados com atenção.

O *cluster*  $2_{qde}$ , esteve centrado em Otacílio Costa- SC, com raio de 368,54 km e apresentou 6 termelétricas. Embora com maior quantidade de observações, o RR para o conglomerado, foi inferior ao *cluster*  $I_{qde}$ , em razão da alta densidade de geradores da região Sul e a quantidade de termelétricas

esperadas (2,57). O *p* valor também esteve acima do limite de significância do método.

Para a oferta de potência, o *cluster*  $I_{pot}$ , com centroide também em Mucuri – BA, registrou 641,52 MW distribuídos em um raio de 296,81 km. O RR foi 3,13, além das termelétricas do licor negro, apenas uma termelétrica do carvão vegetal esteve na mesma área do conglomerado, conforme Coelho Junior [26], o que resultou em um risco mais alto. O *cluster*  $I_{pot}$  apresentou significância estatística ( $p$  valor  $< 0,05$ ). O *cluster*  $2_{pot}$ , apresentou centroide no município de Otacílio Costa – RS e raio de 359,80 km. Foram observados 440,77 MW, enquanto esperava-se 183,02 MW, e o risco relativo foi de 2,70. O conglomerado também apresentou significância estatística.

TABELA IV  
CARACTERÍSTICAS DOS CLUSTERS DA QUANTIDADE E POTÊNCIA INSTALADA DAS TERMELÉTRICAS DE LICOR NEGRO NO BRASIL, EM 2018.

	Cluster	Centroide	R (km)	Obs.	Esp.	RR	LLR	<i>p</i> valor
Qde.	1	Mucuri - BA	296,81	4	1,14	4,21	2,41	0,256
	2	Otacílio Costa - SC	368,54	6	2,57	3,00	2,07	0,415
Pot.	1	Mucuri - BA	296,81	641,52	247,48	3,13	252.959,46	$< 0,001$
	2	Otacílio Costa - RS	359,80	440,77	183,02	2,70	144.271,36	$< 0,001$

Legenda: Qde.= quantidade; Pot. = Potência Instalada; LLR = teste de verossimilhança (LLR); Obs. = casos observados; Esp. = casos esperados; RR = risco relativo.

#### IV. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos verificou-se que a região Sul apresentou o maior número de termelétricas e potência instalada a partir do licor negro. Com relação aos estados, Santa Catarina, Bahia e o Mato Grosso do Sul dividiram o posto do maior número de termelétricas, sendo o Mato Grosso do Sul o estado com maior potência instalada.

A concentração estadual do número de termelétricas e da potência instalada para o  $CR(k)$  foi moderadamente alta a muito alta, implicando em uma estrutura de mercado oligopolista. Por sua vez, os índices que utilizaram todos os participantes do mercado, como o  $HHI$  e o  $E$ , apontaram um mercado atomizado, enquanto o  $G$  indicou concentração intermediária, o que pode refletir polarização entre os estados. Assim, deve-se concluir que não há concentração forte para o setor.

Entre as empresas participantes o  $CR(k)$  e  $G$  identificaram tendências de concentração, enquanto o  $HHI$  e o  $E$  inferiram em mercado atomizado. Confrontando os índices, deve-se considerar o setor com baixa concentração entre as termelétricas.

Foram identificados quatro conglomerados para o licor negro, sendo dois para o número de termelétricas e dois para potência instalada. A partir dos clusters notou-se alto potencial de oferta na região Sul do país e um complexo entre a Bahia, Minas Gerais e Espírito Santo.

Esta pesquisa apontou a distribuição da oferta de bioeletricidade do licor negro no Brasil, fornecendo informações para o desenvolvimento do setor, uma vez que o consumo de energia resulta no crescimento econômico. A identificação da concentração e dos conglomerados evidenciou que a oferta esteve associada aos complexos industriais de celulose e papel, a partir da geração com licor negro residual. Estes resultados podem indicar aos investidores o impacto da geração de eletricidade no setor e a localização mais pertinente para a instalação, colaborando para o aumento da geração

distribuída e consequente aumento da segurança e diversificação da matriz elétrica nacional.

#### REFERENCES

- [1] R. Shimelmitz, S. L. Kuhn, A. J. Jelinek, A. Ronen, A. E. Clark, and M. Weinstein-Evron, "Fire at will: The emergence of habitual fire use 350,000 years ago," *J. Hum. Evol.*, vol. 77, pp. 196–203, Dec. 2014, doi: 10.1016/j.jhevol.2014.07.005.
- [2] G. Salazar Dias and D. Carrion, "Characterization and modeling of the efficiency of photovoltaic systems," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 13, no. 8, pp. 2580–2586, Aug. 2015, doi: 10.1109/TLA.2015.7332135.
- [3] G. Xu, M. Li, and P. Lu, "Experimental investigation on flow properties of different biomass and torrefied biomass powders," *Biomass and Bioenergy*, vol. 122, pp. 63–75, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.biombioe.2019.01.016.
- [4] J. de Castro Reis, R. dos Santos Constant, L. Angulo Meza, and J. C. Soares de Mello, "Multiobjective Linear Programming to Determine the Most Suitable Electrical Energy Matrix for Countries: a Case Study at Brazil," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 17, no. 03, pp. 426–433, Mar. 2019, doi: 10.1109/TLA.2019.8863313.
- [5] T. O. S. Alfonso, R. A. Cassel, J. C. M. Siluk, B. P. Silva, and S. F. Venturini, "Analysis of Critical Factors for Energy Efficiency in Productive Systems: a systematic review," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 100, no. 1, pp. 1–10, 2020.
- [6] M. T. Tolmasquim, "Energia Termelétrica - Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear." EPE, Rio de Janeiro, p. 417, 2016.
- [7] BRACELPA, "Dados do setor," *Dados do setor*, 2014. //bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/booklet.pdf.
- [8] A. B. Hora, "Panoramas setoriais 2030: papel e celulose," 2017.
- [9] Indústria brasileira de árvores, Relatório 2019, 2019. [Online]. Available: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>.
- [10] Agência nacional de energia de elétrica - ANEEL, "Sistema de Informações de Geração da ANEEL," Capacidade de Geração do Brasil, 2019. Available:http: <https://bit.ly/2IGf4Q0>.
- [11] C. Sze Yi, A. Radam, A. Hassan, and M. N. Shamsudin, "Market Structure of Malaysian Palm Oil Refining Industry," *Asian Acad. Manag. J.*, vol. 23, no. 2, pp. 125–141, 2018, doi: 10.21315/aamj2018.23.2.6.
- [12] J. Bain, *Industrial organization*. New York, 1959.
- [13] M. L. Possas, *Estruturas de mercado em oligopólio: economia e planejamento*, 2ª. São Paulo: Hicitec, 1999.
- [14] M. Busu, "A Market Concentration Analysis of the Biomass Sector in

- Romania,” *Resources*, vol. 9, no. 6, p. 64, May 2020, doi: 10.3390/resources9060064.
- [15] J. Kamiński, “The development of market power in the Polish power generation sector: A 10-year perspective,” *Energy Policy*, vol. 42, pp. 136–147, Mar. 2012, doi: 10.1016/j.enpol.2011.11.057.
- [16] R. Garcia, “Economias externas e vantagens competitivas dos produtores em sistemas locais de produção: as visões de Marshall, Krugman e Porter,” *Ensaio FEE*, vol. 27, no. 2, pp. 301–224, 2006.
- [17] M. Kulldorff and N. Nagarwalla, “Spatial disease clusters: Detection and inference,” *Stat. Med.*, vol. 14, no. 8, pp. 799–810, Apr. 1995, doi: 10.1002/sim.4780140809.
- [18] E. N. Smaniotto and T. W. Alves, “Concentração e poder de mercado no sistema bancário brasileiro: uma análise pós-Plano Real,” *Perspect. Econômica*, vol. 12, no. 1, Apr. 2016, doi: 10.4013/pe.2016.121.03.
- [19] P. G. Berger, M. Minnis, and A. Sutherland, “Commercial lending concentration and bank expertise: Evidence from borrower financial statements,” *J. Account. Econ.*, vol. 64, no. 2–3, pp. 253–277, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.jacceco.2017.06.005.
- [20] K. J. Chalvatzis and A. Ioannidis, “Energy supply security in the EU: Benchmarking diversity and dependence of primary energy,” *Appl. Energy*, vol. 207, pp. 465–476, 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.07.010.
- [21] A. Ioannidis, K. J. Chalvatzis, X. Li, G. Notton, and P. Stephanides, “The case for islands’ energy vulnerability: Electricity supply diversity in 44 global islands,” *Renew. Energy*, vol. 143, pp. 440–452, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.renene.2019.04.155.
- [22] M. Tonini, D. Tuia, and F. Ratle, “Detection of clusters using space - time scan statistics,” *Int. J. Wildl. Fire*, vol. 18, no. 7, p. 830, 2009, doi: 10.1071/WF07167.
- [23] C. Vega Orozco, M. Tonini, M. Conedera, and M. Kanveski, “Cluster recognition in spatial-temporal sequences: the case of forest fires,” *Geoinformatica*, vol. 16, no. 4, pp. 653–673, Oct. 2012, doi: 10.1007/s10707-012-0161-z.
- [24] M. G. Pereira, L. Caramelo, C. V. Orozco, R. Costa, and M. Tonini, “Space-time clustering analysis performance of an aggregated dataset: The case of wildfires in Portugal,” *Environ. Model. Softw.*, vol. 72, pp. 239–249, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.envsoft.2015.05.016.
- [25] K. D. Randolph, “Using satscantm spatial-scan software with national forest inventory data: A case study in South Carolina,” *Math. Comput. For. Nat. Sci.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–13, 2017.
- [26] L. M. Coelho Junior, E. P. Santos Junior, A. M. M. Nunes, F. J. Simioni, R. Abrahao, and P. R. Junior, “Concentration and Spatial Clustering of Forest-Based Thermolectric Plants in Brazil,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 221932–221941, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3042945.
- [27] Google, “Google Maps,” 2019. www.google.com.br/maps (Accessed Jul. 06, 2019).
- [28] R. Dawson, “How Significant is a Boxplot Outlier?,” *J. Stat. Educ.*, vol. 19, no. 2, Jul. 2011, doi: 10.1080/10691898.2011.11889610.
- [29] A. O. Hirschman, “The paternity of an index,” *Am. Econ. Rev.*, vol. 54, no. 5, pp. 761–762, 1964.
- [30] A. Tushaj, “Market concentration in the banking sector: Evidence from Albania.” BERG Working paper series on government and growth, 2010.
- [31] M. Resende, “Medidas de concentração industrial: uma resenha,” *Análise Econômica*, vol. 12, no. 21, pp. 24–33, Oct. 1994, doi: 10.22456/2176-5456.10488.
- [32] M. Resende and H. Boff, “Concentração industrial,” in *Economia industrial: fundamentos teóricos e práticas no Brasil*, L. Kupfer, D.; Hasenclever, Ed. Rio de Janeiro: Campus, 2002, pp. 73–90.
- [33] H. Theil, *Economics and information theory*. Amsterdam: North-Holland, 1967.
- [34] C. Gini, “Variabilità e mutabilità (1912),” in *Reprinted in memorie di metodologica statistica*, E. Pizetti and T. Salvemini, Eds. Rome: Libreria Eredi Virgilio Veschi, 1955.
- [35] M. Kulldorff, “A spatial scan statistic,” *Commun. Stat. - Theory Methods*, vol. 26, no. 6, pp. 1481–1496, Jan. 1997, doi: 10.1080/03610929708831995.
- [36] A. M. Nigatu, K. A. Gelaye, D. T. Degefie, and A. Y. Birhanu, “Spatial variations of women’s home delivery after antenatal care visits at lay Gayint District, Northwest Ethiopia,” *BMC Public Health*, vol. 19, no. 1, p. 677, Dec. 2019, doi: 10.1186/s12889-019-7050-4.
- [37] L. Lyrio de Oliveira *et al.*, “Modelling the technical potential of bioelectricity production under land use constraints: A multi-region Brazil case study,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 123, p. 109765, May 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.109765.
- [38] M. I. M. Marques, “Considerações sobre a expansão da indústria de papel

- e celulose no Brasil a partir do caso da Suzano Papel e Celulose,” *GEOgraphia*, vol. 17, no. 35, p. 120, Feb. 2016, doi: 10.22409/GEOgraphia2015.v17i35.a13731.
- [39] D. A. L. Silva, A. L. Raymundo Pavan, J. Augusto de Oliveira, and A. R. Ometto, “Life cycle assessment of offset paper production in Brazil: hotspots and cleaner production alternatives,” *J. Clean. Prod.*, vol. 93, pp. 222–233, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.01.030.
- [40] F. M. Scherer and D. Ross, *Industrial market structure and economic performance*, 3rd ed. Boston: Houghton Mifflin, 1990.
- [41] A. E. Broughel, “Impact of state policies on generating capacity for production of electricity and combined heat and power from forest biomass in the United States,” *Renew. Energy*, vol. 134, pp. 1163–1172, 2019, doi: 10.1016/j.renene.2018.09.058.
- [42] R. L. G. Mattos and A. C. V. Valença, “A reestruturação do setor de papel e celulose,” Rio de Janeiro, 1999.



**Luiz Moreira Coelho Junior** possui graduação em Ciências Econômicas (2001) pela Universidade de Vila Velha (UVV), mestrado (2004) e doutorado (2010) em engenharia florestal pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Desde 2013 é Professor do Departamento de Engenharia de Energias Renováveis, do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Tem experiência na área de Economia Aplicada, atuando principalmente nos seguintes temas: economia florestal, desenvolvimento sustentável e energias renováveis, com ênfase em bioenergia.



**Edvaldo Pereira Santos Júnior** possui graduação em Engenharia de Energias Renováveis (2018) e mestrado em Energias Renováveis (2020) pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Atualmente é doutorando em Tecnologias Energéticas e Nucleares pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Tem experiência na área de Engenharia Econômica, com ênfase em estudos de mercado, atuando principalmente nos temas: bioenergia, concentração industrial, análises regionais e espaciais.



**Anna Manuella Melo Nunes** possui graduação em Direito (2006) pela Faculdade Estácio do Recife, com especialização profissional em Direito Energético (2015) pelo Instituto Brasileiro de Direito Energético - IBDE/SP. Desde 2011 atua em empresas do setor elétrico. Atualmente é mestrande em Energias Renováveis pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Tem experiência na área de direito de energia, com experiência na área empresarial, regulatória e ambiental do setor de distribuição, geração e transmissão.



**Álvaro Nogueira de Souza** possui graduação (1996), mestrado (1999) e doutorado (2005) em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Desde 2006 é professor do Departamento de Engenharia Florestal, da Faculdade de Tecnologia, da Universidade de Brasília (UnB). Tem experiência na área de Recursos Florestais e Engenharia Florestal, com ênfase em Economia Florestal, atuando principalmente nos seguintes temas: florestas de produção, sistemas agroflorestais, comercialização de produtos florestais não madeireiros e uso sustentável dos recursos naturais, recuperação de áreas degradadas, projetos de concessão florestal.



**Luís Antônio Coimbra Borges** possui graduação (2003), mestrado (2005) e doutorado (2008) em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Desde 2009 é professor do Departamento de Ciências Florestais da UFLA. Tem experiência na área de recursos florestais e engenharia florestal, com ênfase em política e legislação florestal, análise de impactos e planejamento e gestão de recursos naturais.



**Flávio José Simioni** possui graduação em Agronomia (1997) pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), mestrado em Economia (2000) pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e doutorado em Engenharia Florestal (2007) pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Desde 2010 é professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro de Ciências Agrárias e Veterinária, da UDESC - Lages). Tem experiência na área de Ciências Ambientais e Recursos Florestais, com ênfase em energia de biomassa florestal e avaliação econômica e ambiental de cadeias produtivas.