



REFLEXÕES PRELIMINARES SOBRE PAISAGENS ENERGÉTICAS BRASILEIRAS, COM ÊNFASE NA ENERGIA NUCLEAR

João Pedro Garcia Araujo ¹
Alexandro Solórzano ²

RESUMO

O presente trabalho é um exercício teórico-metodológico da aplicação do conceito de paisagens energéticas de Pasqueletti e Stremke à realidade do sistema elétrico brasileiro. A partir de uma pesquisa bibliográfica, foram levantados dados sobre empreendimentos representativos da matriz hidro-termo-eólica do Sistema Interligado Nacional (SIN) e do ciclo do combustível nuclear no Brasil. Fizemos as qualificações substantiva, espacial e temporal das paisagens criadas por uma hidrelétrica, uma termelétrica convencional, um parque eólico, uma usina termonuclear, um complexo uranífero e uma fábrica de combustível nuclear. O quadro teórico construído permitiu múltiplas comparações entre as paisagens energéticas, com destaque para: a relação entre energia produzida, combustível/força motriz utilizado e uso do solo; a permanência e a reversibilidade da paisagem em função de cada tipo de empreendimento; e a conexão entre as paisagens do ciclo do combustível nuclear. O uso do SIN como ponto de partida evidenciou a necessidade de abordagens transdisciplinares e multiescalares para o estudo das paisagens energéticas. Mais que uma ferramenta teórica, as paisagens energéticas têm uso prático no planejamento territorial, na elaboração de políticas públicas e no auxílio à tomada de decisões envolvendo as questões energéticas em seus múltiplos aspectos. No caso específico da energia nuclear no Brasil, este conceito poderá ser particularmente útil se o Governo Federal levar a cabo a expansão desta fonte, conforme previsto nos dois últimos Planos Nacionais de Energia.

Palavras-chave: Brasil; Ciclo do combustível nuclear; Multiescalaridade; Paisagem energética; Sistema Interligado Nacional.

ABSTRACT

This paper is a theoretical-methodological exercise about applying Pasqualetti and Stremke's concept of energy landscapes to the Brazilian electrical system. Data about facilities that characterizes the hydro-thermal-aeolian matrix of the National Interconnected System (NIS) and the Brazilian nuclear fuel cycle were gathered through bibliographic research. We've made the substantive, spatial and temporal qualifications of one hydroelectric plant, one conventional thermal plant, one wind farm, one nuclear powerplant, one uranium mining facility, and one nuclear fuel factory. The framework applied enabled multiple comparisons among energy landscapes, specially: the relation among energy production, fuel and land use; landscape permanence and reversibility considering each kind of facility; and the connection among

¹ Doutorando do Programa de Pós-graduação em Geografia da Pontifícia Universidade Católica - RJ, araujo.jpg@gmail.com;

² Professor Assistente do Departamento de Geografia e Meio Ambiente da Pontifícia Universidade Católica - RJ, alexandrosol@gmail.com.



nuclear fuel cycle energy landscapes. The NIS as starting point showed the need of transdisciplinary and multiscale approaches to the study of energy landscapes. More than a theoretical tool, energy landscapes can be used in territorial planning, public policymaking, and decision making in multiple issues about energy. Regarding nuclear power in Brazil, this concept can be especially helpful if Federal Government really support the expansion of this source as provided in the last two National Energy Plans.

Keywords: Brazil, Energy landscape, Multiscale, National Interconnected System, Nuclear fuel cycle.

INTRODUÇÃO

Desde suas origens a espécie humana busca energia continuamente. Seja a energia vital dos alimentos, o fogo que aquece e protege, ou a eletricidade com suas variadas aplicações. Essa busca determina muitas das interações que as sociedades estabelecem com a natureza, daquelas mais corriqueiras, como a caça e a coleta de vegetais, até aquelas mais complexas e sofisticadas, como a construção de sistemas de geração e transmissão de energia.

É justamente sobre essas interações entre sociedade e natureza na busca por energia que o presente trabalho se debruça. A partir de pesquisa bibliográfica, propomos algumas reflexões sobre a formação de paisagens energéticas no Brasil. Considerando que a energia possivelmente continuará sendo o principal vetor de transformações da paisagem no século XXI, as paisagens energéticas despontam como um importante campo emergente de pesquisa (NADAÏ; VAN DER HORST, 2010). Entretanto, dados da Plataforma Lattes indicam que poucos pesquisadores no Brasil têm atuado nesse campo, a despeito das paisagens energéticas representarem, entre outros aspectos, uma tentativa de diálogo entre produção acadêmica, políticas energéticas e processos setoriais de tomada de decisão (PASQUELETTI; STREMKE, 2018).

O presente trabalho é um exercício teórico-metodológico de aplicação do conceito de paisagens energéticas à realidade do sistema elétrico brasileiro. Nossos objetivos foram: (i) discutir a necessidade de uma abordagem transdisciplinar e multiescalar para se interpretar as paisagens criadas por empreendimentos de geração e transmissão de energia elétrica; (ii) comparar as paisagens criadas por cada uma das três principais fontes de geração do Sistema Interligado Nacional – SIN (hidráulica, térmica e eólica); e (iii) discutir as conexões entre as paisagens do ciclo do combustível nuclear no Brasil. A ênfase na energia nuclear deve-se ao fato deste trabalho ser parte de um



projeto de pesquisa mais amplo sobre a transformação da paisagem do litoral sul fluminense sob influência da Central Nuclear de Angra dos Reis.

METODOLOGIA

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica para levantar documentos técnicos, normativos e trabalhos acadêmicos (artigos, livros, teses e dissertações etc.) sobre os setores elétrico e nuclear do Brasil. Os dados obtidos foram utilizados na construção de um quadro comparativo de paisagens energéticas, seguindo os critérios definidos por Pasqualetti e Stremke (2018). Em função da sua representatividade no SIN, foram selecionadas uma hidrelétrica, uma termelétrica convencional e um parque eólico. Estas foram comparadas com as paisagens do ciclo do combustível nuclear, representadas por uma termelétrica nuclear, um complexo uranífero e uma fábrica de combustível.

A densidade energética das paisagens é a razão entre a geração de energia do empreendimento (MWh) e o volume (m^3) ou massa (kg) dos combustíveis ou forças motrizes utilizados. As densidades apresentadas neste trabalho correspondem à média de três anos operacionais dos empreendimentos analisados, exceto pela geração eólica. Neste caso, partimos da velocidade média para 366 dias aleatórios escolhidos dentre uma série histórica de 15 anos, disponível em Camargo-Schubert Engenheiros Associados (2017), para calcular a vazão média e o volume de ar sobre o conjunto das pás dos aerogeradores por ano. A densidade foi obtida dividindo-se o valor médio de geração durante um período de aproximadamente 10 anos (PACIFICHYDRO, 2017a) por este volume de ar anual.

REFERENCIAL TEÓRICO

Ao longo da história humana é possível distinguir diferentes eras e transições energéticas (SMIL, 2004), as quais imprimiram/imprimem marcas específicas na paisagem. Esta pode ser considerada a estrutura espacial resultante da interação entre processos naturais e atividades humanas, onde estão associadas ações passadas e presentes, onde estão acumulados diferentes tempos. Portanto, a paisagem é um conceito central para a compreensão da relação sociedade-natureza (OLIVEIRA; ENGEMANN, 2011).



Algumas das marcas impressas na paisagem por nossas necessidades energéticas são mais superficiais e tornam-se sutis com o passar do tempo. É o caso da produção de carvão vegetal no Maciço da Pedra Branca, município do Rio de Janeiro, entre o século XIX e meados do século XX. Mais de um século depois, as áreas das antigas carvoarias foram escondidas pela regeneração da floresta e só podem ser identificadas por um olhar geográfico-histórico e ecológico multiescalar (OLIVEIRA, 2015).

Outras marcas, no entanto, são profundas e não esmaecem com o passar do tempo. É o caso de grandes usinas hidrelétricas, como Itaipu, localizada no oeste paranaense, na fronteira entre Brasil e Paraguai. Entre as décadas de 1970 e 1980, o barramento do Rio Paraná para a construção desta usina submergiu o Salto das Sete Quedas, criou um lago de 1.350km² e implicou no reassentamento de cerca de 40.000 pessoas (ITAIPU BINACIONAL, 2010).

A floresta dos carvoeiros e o lago da hidrelétrica de Itaipu são dois exemplos do que diferentes grupos de autores têm denominado recentemente de paisagens energéticas (*e.g.* FRANTÁL; PASQUALETTI; VAN DER HORST, 2014; HOWARD *et al.*, 2013; PASQUELETTI; STREMKE, 2018). No presente trabalho, utilizaremos a definição de Pasqualetti e Stremke (2018), para quem paisagens energéticas são paisagens culturais resultantes do comissionamento de recursos energéticos para sustentar a vida humana, nas quais espaço e sociedade são co-construídos a partir de uma série de relações materiais e sociais.

Optamos por essa definição devido à sua completude: ela se baseia em uma ampla revisão da literatura, onde são discutidas outras definições disponíveis; busca alinhar o discurso e a prática acadêmicos às políticas energéticas, aos processos de tomada de decisão, aos arcabouços legais e à arquitetura de paisagens (conjunto de ações para criar, manter, proteger ou melhorar lugares, visando torná-los simultaneamente funcionais, belos e sustentáveis); e ainda fornece um quadro teórico para categorizar e comparar diferentes tipos de paisagens energéticas (PASQUELETTI; STREMKE, 2018).

Este quadro teórico estrutura-se a partir de três categorias primárias e aninhadas, isto é, hierarquicamente inclusivas, quais sejam:

1. Qualificação substantiva: o tipo de recurso energético influencia diretamente a aparência física da paisagem energética. A densidade energética pode ajudar a organizar melhor os diferentes tipos de paisagem energética. Ela pode variar de relativamente baixa (*e.g.* biomassa) a relativamente alta (*e.g.* mina de urânio).



2. Qualificação espacial: a aparência das paisagens energéticas é determinada pela extensão espacial e a dominância visual da infraestrutura de energia. Em alguns casos, a infraestrutura constitui um dentre muitos componentes da paisagem (e.g. aerogeradores). Em outros casos, o desenvolvimento energético é o único uso do solo e a paisagem energética pode ser considerada uma entidade (e.g. mina de carvão a céu aberto).

3. Qualificação temporal: o grau de permanência das paisagens energéticas, como outras paisagens, pode variar de relativamente dinâmico (devido a tecnologias de ciclo de vida curto e à reversibilidade das intervenções) a permanente (mudanças manifestas quase indefinidamente) (PASQUALETTI; STREMKKE, 2018, p. 99, grifos do autor, tradução nossa).

Contudo, estas não são as únicas qualificações possíveis das paisagens energéticas. Elas também podem ser qualificadas em função do principal agente atuante em seu desenvolvimento (e.g. comunidades locais, empresas, governos), do seu nível de independência energética (se importadora ou exportadora de energia), e do seu estágio na cadeia produtiva (extração, processamento, transporte, geração, transmissão e tratamento de resíduos) (PASQUALETTI; STREMKKE, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atualmente o SIN tem como base uma matriz hidro-termo-eólica, que engloba mais de 220 unidades geradoras e cerca de 145.600km de linhas de transmissão. Cobrindo todas as regiões do Brasil, ele se divide em quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte, sendo este último complementado por sistemas isolados compostos principalmente por usinas térmicas a diesel (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2021).

Embora os empreendimentos que compõem o SIN a princípio se enquadrem nas definições e tipologias de paisagem energética, o sistema como um todo não pode ser analisado sob essa perspectiva, pois sua extensão territorial, em escala nacional, corresponde a grandes disparidades sociais, econômicas, culturais e ambientais, tornando impossível a delimitação de uma unidade de paisagem. Até mesmo os subsistemas do SIN, de escala regional, são extensos demais para serem delimitados como unidades de paisagem. Nesse sentido, as redes geográficas, seguindo a concepção analítica de Roberto Lobato Corrêa (2001), nos parecem uma ferramenta teórico-conceitual mais adequada à análise do SIN e de seus subsistemas.

Ainda que o SIN como um todo não possa ser analisado de acordo com o quadro teórico das paisagens energéticas, ele nos mostra a distribuição e as interconexões



dessas paisagens ao longo do território brasileiro. No caso das linhas de transmissão, um único empreendimento ainda pode ser muito extenso, dificultando a identificação de unidades de paisagem. O Sistema de Transmissão Xingu-Rio, por exemplo, possui cerca de 2.540km de extensão, seu traçado inicia-se em Altamira, Pará, cruza 79 municípios distribuídos pelas regiões Norte, Centro-Oeste e Sudeste, até chegar à Nova Iguaçu, Rio de Janeiro (STATE GRID BRAZIL HOLDING, 2019). Esse percurso atravessa três biomas, diversos ecossistemas e áreas com diferentes histórias de ocupação humana. Nesse contexto, é inviável considerar todo o Xingu-Rio como uma única paisagem; é necessário dividi-lo em trechos limitados a áreas com certa homogeneidade climática, hidro-geomorfológica e de uso humano, para que a abordagem das paisagens energéticas se torne possível.

No caso dos empreendimentos de geração elétrica, devido à sua extensão espacial menor, é mais simples definir unidades e aplicar o conceito de paisagem energética. A seguir apresentamos os resultados da aplicação do quadro teórico de Pasqualetti e Stremke (2018) a um empreendimento representativo de cada tipologia da matriz hidro-termo-eólica do SIN. Posteriormente, seguem-se os resultados da análise do conjunto de paisagens energéticas do ciclo do combustível nuclear no Brasil.

Usina hidrelétrica

A Usina de Itaipu (Fig. 1A) foi escolhida como exemplo de hidrelétrica. A qualificação substantiva da paisagem energética criada por esse empreendimento é definida pela água. No presente trabalho, sua densidade energética é considerada intermediária, correspondendo a $0,000282\text{MWh}/\text{m}^3$. No contexto das hidrelétricas, também consideramos relevante complementar a densidade energética com os valores da razão geração/área de reservatório, a qual é de $73.000\text{MWh}/\text{km}^2$ no caso de Itaipu, um dos valores mais altos para hidrelétricas em todo o mundo (ITAIPU BINACIONAL, 2010).

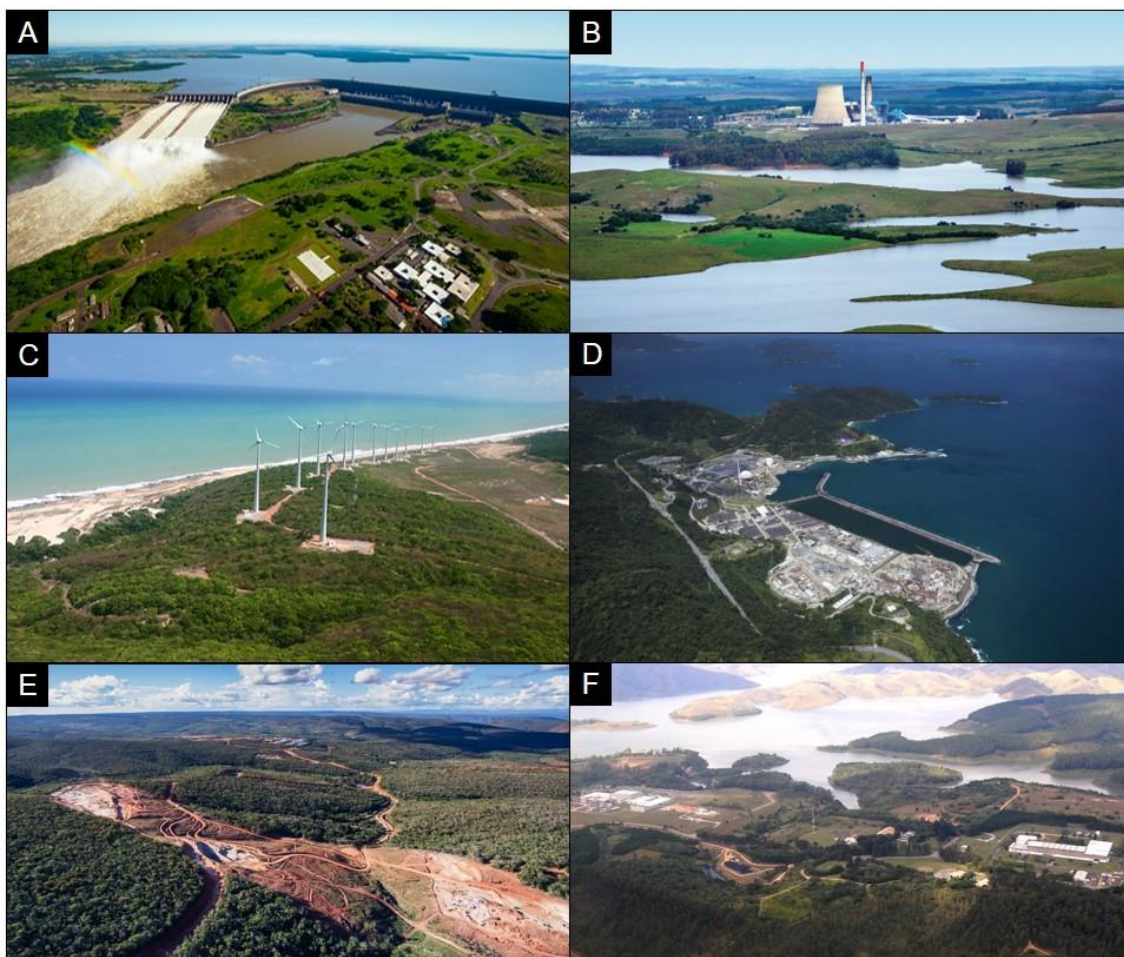
No tocante à qualificação espacial, a barragem é uma infraestrutura de energia de aproximadamente 8.000m, mas que afeta uma área bastante extensa, isto é, os 1.350km^2 que compõem o reservatório da Usina. O conjunto barragem e reservatório domina espacialmente a paisagem energética de Itaipu, que se classifica como entidade,

³ Cálculo feito a partir de dados não publicados de Itaipu Binacional para o período de 2014 a 2016.



uma vez que impede outros usos do solo além da geração de energia. Apesar desse impedimento, duas atividades econômicas não relacionadas à energia são realizadas nessa paisagem: a aquicultura e o turismo (ITAIPU BINACIONAL, [2007?]; BIESEK, 2013), as quais, entretanto, não quebram a dominância visual da infraestrutura de energia.

Figura 1 – Exemplos de paisagens energéticas brasileiras: Usina Hidrelétrica de Itaipu – PR (A); Complexo Termelétrico de Candiota – RS (B); Parque Eólico Millennium – PB (C); Central Nuclear de Angra dos Reis – RJ (D); Mina do Engenho – BA (E); Fábrica de Combustível Nuclear – RJ (F).



Fontes: Alexandre Marchetti/Itaipu Binacional (sem data); Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica (sem data); PacificHydro (2017a); Eletronuclear (2011); Indústrias Nucleares do Brasil (2017; sem data).

Por fim, com relação à qualificação temporal, constata-se que o ritmo de mudança que originou a paisagem energética de Itaipu foi de aproximadamente uma



década, tendo como marcos o início das obras em 1974, o enchimento do reservatório em 1982 e o início da geração de energia em 1984 (ITAIPU BINACIONAL, 2010). O grau de permanência da paisagem de Itaipu pode ser classificado como intermediário, pois se houvesse o descomissionamento da usina e a remoção da barragem, uma nova paisagem seria criada, onde haveria, por exemplo, alterações na proporção e distribuição de terras emersas e submersas e também nos fluxos dos rios à jusante. Embora remoções de grandes barragens ainda sejam eventos raros em todo o planeta e com muitos desafios técnicos a serem superados, a remoção de pequenas barragens tem revelado que a recuperação dos ecossistemas e estoques pesqueiros tem sido relativamente rápida (BRINK, 2011).

Usina termelétrica convencional

O exemplo escolhido para esse tipo de usina foi o Complexo Termelétrico de Candiota (Fig. 1B), localizado no município homônimo, Rio Grande do Sul, próximo à fronteira com o Uruguai. O Complexo conta com três unidades: Candiota I, que operou entre 1961 e 1974; Candiota II, que operou entre 1974 e 2017; e Candiota III, cuja operação iniciou-se em 2011 e está autorizada até 2041 (SILVA, 2018; COMPANHIA DE GERAÇÃO TÉRMICA DE ENERGIA ELÉTRICA, 2019a).

A qualificação substantiva da paisagem energética criada pelo Complexo de Candiota é definida pelo carvão mineral, combustível utilizado por todas as suas unidades. No presente trabalho, sua densidade energética é considerada intermediária, correspondendo a $0,00103\text{MWh/kg}^4$. Cabe ressaltar que o Complexo se localiza sobre uma jazida carbonífera de aproximadamente 2.000km^2 , com reservas de carvão de cerca de 1 bilhão de toneladas passíveis de serem mineradas a céu aberto, em profundidades de até 50 metros. Devido a essa configuração espacial, a distância entre a mina e as usinas é de pouco mais de 5km (COMPANHIA RIOGRANDENSE DE MINERAÇÃO, sem data; SILVA; KALKREUTH, 2005).

No tocante à qualificação espacial, o Complexo Termelétrico é uma infraestrutura de energia com área de aproximadamente $0,53\text{km}^2$, mas que afeta uma área de 200km^2 , correspondentes à Mina de Candiota (COMPANHIA RIOGRANDENSE DE MINERAÇÃO, 2013; GOOGLE, 2019). O conjunto formado

⁴ Cálculo feito a partir de dados disponíveis em Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica (2016; 2018; 2019a,b).



pelo Complexo e a Mina domina espacialmente a paisagem energética de Candiota, classificando-a como entidade, uma vez que impede outros usos do solo além da mineração. A bacia hidrográfica do Arroio Candiota é também um componente relevante nessa paisagem, pois fornece a água indispensável ao processo de geração termelétrica (COMPANHIA DE GERAÇÃO TÉRMICA DE ENERGIA ELÉTRICA, sem data; 2019b).

Por fim, com relação à qualificação temporal, constata-se que o ritmo de mudança que originou a paisagem energética de Candiota foi de aproximadamente 130 anos, tendo como primeiro marco o início da produção carvoeira na área, em 1828 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017). Durante o século XIX e início do século XX, o carvão era destinado principalmente ao transporte marítimo e ferroviário (TABORDA, 1986 *apud* SILVA, 2018). A geração de eletricidade a partir da queima do carvão começa apenas em 1961, com o início da operação de Candiota I. Essa paisagem energética será perpetuada pela implantação das unidades II e III do Complexo Termelétrico, em 1974 e 2011, respectivamente (COMPANHIA DE GERAÇÃO TÉRMICA DE ENERGIA ELÉTRICA, 2019a). É interessante notar que após o descomissionamento de Candiota I, a usina foi tombada como patrimônio industrial do Rio Grande do Sul, tornando-se um marco histórico e adquirindo nova função nessa paisagem energética (SILVA, 2018). O grau de permanência dessa paisagem pode ser classificado como alto, pois mesmo que houvesse o descomissionamento da última usina e o encerramento das atividades da mina, a paisagem inicial, isto é, aquela anterior à formação da paisagem energética, está irreversivelmente alterada.

Parque eólico

O exemplo deste tipo de empreendimento é o Parque Eólico Millennium (Fig. 1C), localizado no município de Mataraca, litoral norte da Paraíba. Operando desde 2007, este foi o primeiro parque eólico paraibano (SOARES, 2016). A qualificação substantiva da paisagem energética criada pelo Millennium é definida pelo vento. No presente trabalho, sua densidade energética é considerada baixa, correspondendo a 0,00000000376MWh/m³⁵. Na Paraíba o comportamento dos ventos é determinado

⁵ Cálculo feito a partir de dados disponíveis em Soares (2016), Camargo-Schubert Engenheiros Associados (2017) e PacificHydro (2017a).



primariamente pelos alísios e pelo anticiclone subtropical do Atlântico Sul, sendo as regiões litorâneas afetadas também por efeitos de brisa terrestre e marinha. Mataraca é uma das sete áreas promissoras para aproveitamentos eólicos no estado, sendo a única situada no litoral. No terreno destacam-se as falésias e dunas e o principal uso do solo é o cultivo da cana-de-açúcar (CAMARGO-SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS, 2017).

No tocante à qualificação espacial, consideramos o Parque Eólico Millennium uma infraestrutura de energia linear, devido à disposição de suas torres. Sua extensão é de aproximadamente 2km, ao longo de um terreno de baixa declividade paralelo à praia (GOOGLE, 2019). As torres são apenas um dos elementos que integram a paisagem energética do Millennium, que se classifica como componente. O parque eólico está inserido em meio à vegetação de restinga, dista entre 100m e 600m da praia, e está a menos de 2km de plantações de cana-de-açúcar (GOOGLE, 2019). Embora o impacto visual dos aerogeradores possa ser um problema, sobretudo em locais de grande beleza cênica, sua presença não impede outros usos do solo (PASQUELETTI, 2011). No caso do Millennium, estes usos seriam o turismo de praia e a agricultura.

Por fim, com relação à qualificação temporal, informações da proprietária do empreendimento nos permitem inferir que o ritmo de mudança que originou a paisagem energética do Millennium foi de 6 a 18 meses (PACIFICHYDRO, 2017b). O grau de permanência dessa paisagem pode ser classificado como dinâmico, pois após o descomissionamento e a retirada da infraestrutura do parque eólico, a paisagem poderia retornar às condições anteriores à instalação do empreendimento, devido ao baixo nível de transformação da paisagem por ele imposto. É interessante notar que em alguns parques eólicos no estado do Paraná, essa reversão da paisagem será facilitada por programas de recuperação ambiental específicos, a serem implementados na fase de desativação dos empreendimentos (ARBORE ENGENHARIA, 2012; IMPACTO ASSESSORIA AMBIENTAL, 2014). Este tipo de medida também poderia ser aplicado durante a desativação do Millennium.

Paisagens energéticas do ciclo do combustível nuclear no Brasil

O ciclo do combustível nuclear envolve: a extração do minério de urânio; as diversas etapas de beneficiamento para transformá-lo em combustível; a geração nucleoe elétrica; o descomissionamento das plantas industriais; o armazenamento



temporário e permanente de rejeitos radioativos; e o reprocessamento de combustível usado (JOHNSTONE, 2017). O Brasil é um dos poucos países no mundo que domina todas as etapas incluídas entre a extração de urânio e a geração nucleolétrica (KASSENOVA; FLORENTINO; SPEKTOR, 2020), porém cada uma destas etapas está associada a basicamente um único empreendimento. Isto faz com que o número de “paisagens nucleares” no Brasil seja muito inferior aos números do demais tipos de paisagens energéticas.

A Central Nuclear de Angra dos Reis (Fig. 1D), litoral sul do Rio de Janeiro, abriga as únicas usinas nucleolétricas do país, Angra 1 e Angra 2, que começaram a operar em 1985 e 2001, respectivamente (ELETRONUCLEAR, 2019). Há uma terceira unidade em construção, Angra 3, porém as obras encontram-se paralisadas.

A qualificação substantiva da paisagem energética criada pela Central Nuclear é definida pelo urânio físsil, combustível usado nos reatores das usinas. No presente trabalho, sua densidade energética é considerada alta, correspondendo a 13.130,42MWh/kg⁶. Cabe ressaltar que diferentemente das outras tipologias de empreendimentos analisadas anteriormente, onde há sobreposição espacial entre a infraestrutura de geração de energia e o combustível/força motriz utilizado, no caso da Central Nuclear há uma disjunção espacial entre esses componentes. Apesar desta disjunção, a existência da paisagem da Central depende da existência das demais paisagens do ciclo do combustível nuclear.

Uma destas paisagens é o Complexo Mineiro-industrial de Caetité (Fig. 1E), localizado no município homônimo, sudoeste da Bahia, que é o único pólo ativo de produção de urânio no Brasil. Suas atividades se iniciaram em 1998 com a exploração da Mina de Cachoeira, de onde foram produzidos cerca de 3.750.000kg de concentrado de urânio entre 2000 e 2015. Da exaustão da lavra a céu aberto de Cachoeira em 2015, até o término do licenciamento ambiental e nuclear da Mina do Engenho e de novas lavras em Cachoeira em 2020, a mineração de urânio em território nacional esteve suspensa⁷ (INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL, 2020).

A outra paisagem é a Fábrica de Combustível Nuclear (Fig. 1F), localizada no município de Resende, sul do Rio de Janeiro. Trata-se de um complexo industrial

⁶ Cálculo feito a partir de dados disponíveis em Eletronuclear (2017; 2018; 2019).

⁷ Durante essa suspensão o Brasil importou urânio. Essa medida conecta paisagens energéticas brasileiras e estrangeiras, mas estas conexões internacionais não serão abordadas neste trabalho.



inaugurado em 1982 e ampliado em 1996, que atualmente conta com quatro unidades, cada uma voltada para uma etapa específica da produção do combustível. Situada em uma área de 6km², a Fábrica está separada da Central Nuclear por um percurso de 175km em rodovias federais e estaduais. Anualmente, comboios compostos por caminhões especiais para transporte de material radioativo e veículos das forças de segurança levam o combustível produzido pela Fábrica até a Central (INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL, 2020), criando um fluxo que conecta essas duas paisagens energéticas.

No tocante à qualificação espacial, a Central Nuclear é uma infraestrutura de energia com área de 1,43km² (ELETRONUCLEAR, 2012), porém é preciso considerar as conexões entre as três paisagens nucleares: o Complexo de Caetité e a Fábrica de Combustível são infraestruturas de energia com áreas de 17km² e 6km², respectivamente (INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL, 2020). Estas três infraestruturas são classificados como entidades, pois dominam suas respectivas paisagens energéticas, impedindo outros usos do solo além da daqueles associados à energia (geração, mineração e produção de combustível, respectivamente).

No caso específico da Central Nuclear, a norma que define os critérios para a escolha de local dos reatores delimita uma área de exclusão e uma zona de baixa população ao redor do empreendimento (BRASIL, 1969), o que impõe restrições ao uso do solo e reforça o caráter entidade desta paisagem energética. O mar também é um componente relevante na qualificação desta paisagem, pois grandes volumes de água salgada são captados para o sistema de resfriamento das usinas, sem os quais a geração de energia elétrica se torna inviável.

Com relação à qualificação temporal, o ritmo de mudança que originou a paisagem energética da Central Nuclear começou em 1971 com o início da construção de Angra 1. A mudança se consolidou em 1985, com entrada em operação dessa unidade, mas não cessou, pois a construção de Angra 2 e 3 já havia sido iniciada. Entretanto, o ritmo desacelerou bastante com os atrasos e as suspensões das obras dessas duas unidades (WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2018). Considerando apenas a fase operacional da Central Nuclear, a perpetuação de sua paisagem energética deve se manter até 2040, quando vencerá a licença de operação de Angra 2. Contudo, a concessionária responsável pelo empreendimento está pleiteando a extensão



da vida útil de Angra 1 por mais 20 anos e também poderá fazê-lo para Angra 2 (BRASIL, 2019).

Outro ponto a ser considerado na qualificação temporal desta paisagem é o destino do combustível nuclear irradiado, material com alto nível de radiação. De acordo com a International Atomic Energy Agency (2009), a disposição final adequada para esse tipo de material são depósitos geológicos estáveis, a centenas de metros abaixo da superfície. Entretanto, poucos países atualmente possuem estes depósitos, restando-lhes a opção de armazenar esse material a longo prazo, o que pode ser feito nos próprios sítios dos reatores ou em instalações de armazenamento em locais remotos (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2009; HEILBRON FILHO *et al.* 2018). Ainda sem um depósito geológico, o Brasil armazena o combustível irradiado na própria Central Nuclear, em piscinas especiais dentro de cada usina e numa Unidade de Armazenamento a Seco externa. Se ao final da operação das usinas ainda não houver depósito geológico, é possível que o combustível irradiado fique na Central Nuclear, conferindo um grau de permanência alto a esta paisagem energética.

Entretanto, é possível que a alta permanência da paisagem da Central Nuclear não esteja necessariamente associada à irreversibilidade, diferentemente do que afirmam Pasqualetti e Stremke (2018). De acordo com a United States National Regulatory Commission (2018), a maioria dos planos de descomissionamento apresentados pelas concessionárias das usinas estadunidenses prevêem que os sítios sejam entregues ao público para uso irrestrito. Considerando que licenciamento nuclear brasileiro se inspira no dos EUA, e que as recomendações da International Atomic Energy Agency, às quais o Brasil está submetido, seguem essa mesma tendência (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2018), é possível que o plano de descomissionamento da Central Nuclear permita à paisagem retornar a um estado similar àquele observado antes da instalação do empreendimento.

Com relação à qualificação temporal do Complexo Mineiro-industrial de Caetité, destacamos dois pontos: a sincronia entre o início da mineração, o início das operações de Angra 2 e a ampliação da Fábrica de Combustível Nuclear, o que reforça a conectividade entre as paisagens nucleares do Brasil; e o caráter permanente e irreversível desta paisagem em decorrência de atividades inerentes à mineração (*e.g.* lavra; remoção e transporte de material de decapagem, de material estéril e de minério; e disposição de material em bacia de rejeitos).



Por fim, destacamos uma diferença na qualificação temporal das paisagens da Fábrica de Combustível e da Central Nuclear: enquanto a última pode ter alta permanência e baixa reversibilidade devido à presença do combustível irradiado, a primeira tem baixa permanência e alta reversibilidade, pois produz apenas rejeitos de nível de radiação baixo e intermediário (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2009; 2018).

A Tabela 1 sintetiza a comparação entre paisagens energéticas dos principais tipos de empreendimentos de geração elétrica presentes no SIN, acrescidas das paisagens associadas ao ciclo do combustível nuclear.

Essa tabela nos mostra, por exemplo, que a Usina Hidrelétrica de Itaipu e o Complexo Termelétrico de Candiota constituem paisagens energéticas de densidade intermediária, porém a primeira se estende por uma área quase sete vezes maior que a segunda. Em contrapartida, a paisagem de Candiota é permanente e irreversível, devido à atividade mineradora, ao passo que a paisagem de Itaipu tem permanência intermediária e é parcialmente reversível. Já o Parque Eólico Millennium é apenas um componente da paisagem energética por ele criada, que é dinâmica e totalmente reversível ao estado anterior à instalação do empreendimento. Contudo, sua densidade energética está cinco ordens de grandeza abaixo da segunda menor densidade calculada.

Por outro lado, a paisagem energética da Central Nuclear de Angra dos Reis se estende por uma área relativamente pequena, possui uma densidade energética sete ordens de grandeza acima da segunda maior densidade calculada, e sua permanência pode ser dinâmica e reversível ou permanente e irreversível, dependendo do plano de descomissionamento a ser executado e do destino do combustível irradiado no futuro. Contudo, diferentemente das demais paisagens, ela é a única que depende diretamente de outras paisagens energéticas para gerar energia elétrica. Ainda assim, se as áreas das paisagens da Fábrica de Combustível Nuclear e do Complexo Mineiro-industrial de Caetité forem somadas àquela da Central Nuclear, a área total resultante ainda é menor que as áreas das paisagens de Itaipu e Candiota. A dependência entre as paisagens nucleares, entretanto, conecta a Central Nuclear à paisagem permanente e irreversível, devido à mineração do urânio, do Complexo de Caetité.



Tabela 1 – Comparação de paisagens energéticas brasileiras a partir da tipologia de Pasqualetti e Stremke (2018).

Paisagem energética	Usina Hidrelétrica de Itaipu	Complexo Termelétrico de Candiota	Parque Eólico Millennium	Central Nuclear de Angra dos Reis	Fábrica de Combustível Nuclear	Complexo Mineiro-industrial de Caetité
Localização	Paraná	Rio Grande do Sul	Paraíba	Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	Bahia
Fonte energética	Água	Carvão mineral	Vento	Urânio físsil	Urânio	Urânio
Estágio na cadeia produtiva da energia	Geração	Extração/ Geração	Geração	Geração	Processamento	Extração/ Processamento
Densidade energética (MWh/m ³ ou kg) ^a	2,8E ⁻⁰⁴	1,0E ⁻⁰³	3,8E ⁻⁰⁹	1,3E ⁺⁰⁴	-	-
Densidade energética (categoria) ^a	Intermediária	Intermediária	Baixa	Alta	-	-
Infraestrutura de energia	Barragem e reservatório	Mina e usina termelétrica	Aerogeradores	Usina termelétrica	Complexo industrial	Mina e usina de beneficiamento
Área (km ²)	1.350	200,53	2 ^b	1,43	6	17
Dominância	Entidade	Entidade	Componente	Entidade	Entidade	Entidade
Permanência	Intermediário	Permanente	Dinâmico	Dinâmico/ Permanente ^c	Dinâmico	Permanente
Reversibilidade	Sim (parcial)	Não	Sim (total)	Sim/Não ^c	Sim	Não
Conexão com outras paisagens energéticas ^d	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim

^a Calculado apenas para as paisagens energéticas geradoras de energia elétrica.

^b No caso deste Parque Eólico, todos os treze geradores estão dispostos em linha, de modo que foi considerada a extensão linear (2km) e não a área do empreendimento.

^c A depender do destino do combustível irradiado previsto no plano de descomissionamento.

^d Neste parâmetro não foram consideradas as conexões entre paisagens energéticas geradoras e transmissoras de energia elétrica, pois todos os exemplos utilizados de geradoras possuem esse tipo de conexão. A intenção aqui foi realçar a conectividade entre as paisagens energéticas nucleares, destacadas em amarelo na tabela.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Sistema Interligado Nacional revelou-se um ponto de partida adequado ao estudo das paisagens criadas por empreendimentos de geração e transmissão de energia elétrica no Brasil, pois mostra a distribuição e as interconexões dessas paisagens ao



longo do território nacional. Entretanto, a vasta extensão do SIN evidencia a necessidade de abordagens transdisciplinares e multiescalares: o quadro teórico das paisagens energéticas é facilmente aplicável a empreendimentos de geração, mas tem limitações para aplicação em linhas de transmissão, por exemplo.

As categorias analíticas propostas neste quadro teórico permitiram uma série de comparações entre as paisagens resultantes de empreendimentos da matriz hidro-termo-eólica do SIN. Tais comparações podem ir muito além de um exercício acadêmico oriundo da aplicação de uma ferramenta teórico-conceitual. Elas têm potencial para uso prático no planejamento territorial, na elaboração de políticas públicas e no auxílio à tomada de decisões envolvendo as questões energéticas em seus múltiplos aspectos (sociais, econômicos, ambientais, culturais etc.), evidenciando a força do conceito de paisagem energética.

No caso específico da energia nuclear, esse conceito poderá ser particularmente útil se o governo brasileiro levar a cabo a expansão da geração elétrica termonuclear, conforme previsto nos dois últimos Planos Nacionais de Energia (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2020).

REFERÊNCIAS

ARBORE ENGENHARIA. **Complexo eólico** – Eólicas Sul. Relatório de impacto ambiental. Braço do Norte (SC): Arbore Engenharia, 2012.

BIESEK, A. S. **Turismo de base comunitária e desenvolvimento territorial**: políticas e práticas em Foz do Iguaçu e região. 2013. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal do Paraná, 2013.

BRASIL. Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Normas para escolha de locais para instalação de reatores de potência**. Resolução CNEN 09/69. 1969. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm168.pdf>. Acesso em 01 de maio de 2018.

BRASIL. Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Eletronuclear solicita à CNEN extensão de vida útil de Angra 1**. 7 nov. 2019. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/ultimas-noticias/620-eletronuclear-solicita-a-cnen-extensao-de-vida-util-de-angra-1>. Acesso em: 30 jan. 2020.

BRINK, E. The long road to river recovery. **World Rivers Review**, v. 26, n. 2, p. 1, 2011.



CAMARGO-SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS. **Atlas eólico do estado da Paraíba**. 2017. Disponível em: <https://paraiba.pb.gov.br/meio-ambiente-dos-recursos-hidricos-e-da-ciencia-e-tecnologia/secretario/atlas-eolico-do-estado-da-paraiba/>. Acesso em: 21 jan. 2020.

COMPANHIA DE GERAÇÃO TÉRMICA DE ENERGIA ELÉTRICA. **Candiota**. Sem data. <http://cgtee.gov.br/UNIDADES/CANDIOTA/>. Acesso em: 21 jan. 2020.

COMPANHIA DE GERAÇÃO TÉRMICA DE ENERGIA ELÉTRICA. **Complexo Termelétrico de Candiota**. Sem data. Disponível em: <http://cgtee.gov.br/COMUNICACAO/IMAGENS/>. Acesso em: 19 jan. 2020.

COMPANHIA DE GERAÇÃO TÉRMICA DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relatório de sustentabilidade 2015**. Porto Alegre: CGTEE, 2016.

COMPANHIA DE GERAÇÃO TÉRMICA DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relatório anual de sustentabilidade 2017**. Porto Alegre: CGTEE, 2018.

COMPANHIA DE GERAÇÃO TÉRMICA DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relatório de administração e demonstrações financeiras da Eletrobras CGTEE 2018**. Porto Alegre: CGTEE, 2019a.

COMPANHIA DE GERAÇÃO TÉRMICA DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relatório anual de sustentabilidade 2018**. Porto Alegre: CGTEE, 2019b.

COMPANHIA RIOGRANDENSE DE MINERAÇÃO. **Mina de Candiota**. Sem data. Disponível em: <http://www.crm.rs.gov.br/conteudo/858/?Mina-de-Candiota#.Xieg6GhKjIW>. Acesso em: 21 jan. 2020.

COMPANHIA RIOGRANDENSE DE MINERAÇÃO. **CRM Candiota entre as maiores minas do Brasil**. 4 abr. 2013. Disponível em: www.crm.rs.gov.br/conteudo/2200/?CRM-Candiota-entre-as-maiores-minas-do-Brasil#.Xiet72hKjIU. Acesso em: 22 jan. 2020.

CORRÊA, R. L. **Trajetórias geográficas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

ELETRONUCLEAR. **CN0202_0002**. 2011. Galeria de imagens e vídeos. 1 jan. 2019. Disponível em: <http://nucweb/fiquepordentro/GaleriaImagensVideos/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 27 jan. 2020.

ELETRONUCLEAR. **Área construída na propriedade da Eletrobras Eletronuclear em Angra dos Reis e Paraty – RJ**. Rio de Janeiro: Eletronuclear, 2012.

ELETRONUCLEAR. **Relatório de sustentabilidade socioambiental 2016**. Rio de Janeiro: Eletronuclear, 2017.

ELETRONUCLEAR. **Relatório de sustentabilidade socioambiental 2017**. Rio de Janeiro: Eletronuclear, 2018.



ELETRONUCLEAR. **Relatório de sustentabilidade 2018**. Rio de Janeiro: Eletronuclear, 2019.

FRANTÁL, B.; PASQUALETTI, M. J.; VAN DER HORST, D. New trends and challenges for energy geographies: introduction to the special issue. **Moravian Geographical Reports**, v. 22, n. 2, p. 2-6, 2014.

GOOGLE. **Google Earth Pro**. Versão 7.3.2.5776 (64-bit). [California]: Google, 2019.

HEILBRON FILHO, P. F. L. *et al.* Disposição geológica de rejeitos radioativos no Brasil: diretrizes de proteção radiológica, requisitos e avaliação de segurança. **Terrae Didática**, v. 14, n. 3, p. 196-206, 2018.

HOWARD, D. C. *et al.* Energyscapes: linking the energy system and ecosystem services in real landscapes. **Biomass and Bioenergy**, v. 55, p. 17-26, 2013.

IMPACTO ASSESSORIA AMBIENTAL. **Parque eólico Rosa dos Ventos I e II**. Relatório de impacto ambiental. Chapecó: Impacto Assessoria Ambiental, 2014.

INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL. **Fábrica de Combustível Nuclear**. Sem data. Disponível em: <http://www.inb.gov.br/Media-Center/Galeria-de-Imagens>. Acesso em: 26 jan. 2020

INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL. **Mina do Engenho**. 2017. Disponível em: <http://www.inb.gov.br/Media-Center/Galeria-de-Imagens>. Acesso em: 26 jan. 2020.

INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL. **INB** – Indústrias Nucleares do Brasil. 2020. Disponível em: <http://www.inb.gov.br/>. Acesso em: 26 jan. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Brasil/Rio Grande do Sul/Candiota**. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/candiota/historico>. Acesso em: 23 jan. 2020.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Classification of radioactive waste: general safety guide**. Vienna: IAEA, 2009. (IAEA safety standard series, n. GSG-1).

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Decommissioning of nuclear power plants, research reactors and other nuclear fuel cycle facilities**. Vienna: IAEA, 2018. (IAEA safety standard series, n. SSG-47).

ITAIPU BINACIONAL. **Aquicultura no Reservatório de Itaipu**. Caderno Aquicultura – Informativo Cultivando Água Boa. [2007?]. Disponível em: http://www.boaspraticas.org.br/attachments/article/27/Especial_Aquicultura_Reservatorio_Itaipu.pdf. Acesso em: 20 jan. 2020.

ITAIPU BINACIONAL. **Comparações**. 2010. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/print/46>. Acesso em: 7 jan. 2020.



JOHNSTONE, P. Exploring nuclear geographies: from uranium mining to waste facility. In: SOLOMON, B. D.; CALVERT, K. E. (org.). **Handbook on the geographies of energy**. Cheltenham/Northampton: Edward Elgar Publishing, 2017. p. 72-87.

KASSENOVA, T.; FLORENTINO, L. P.; SPEKTOR, M. **Prospects for nuclear governance in Brazil**. São Paulo: FGV School of International Relations, mar. 2020. Disponível em: <https://ri.fgv.br/en/news/2020-03-10/prospects-nuclear-governance-brazil>. Acesso em: 2 jan. 2021.

MARCHETTI, A. **Vista aérea das áreas internas da usina**. Sem data. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/meioambiente/saneamento-da-regiao>. Acesso em: 19 jan. 2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional de Energia 2050**. Brasília, DF: MME/EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>. Acesso em: 01 jan. 2021.

NADAÏ, A.; VAN DER HORST, D. Introduction: landscapes of energies. **Landscape Research**, v. 35, n. 2, p. 143-155, 2010.

OLIVEIRA, R. R. “Fruto da terra e do trabalho humano”: paleoterritórios e diversidade da Mata Atlântica no Sudeste brasileiro. **Revista de História Regional**, v. 20, n. 2, p. 277-299, 2015.

OLIVEIRA, R. R.; ENGEMANN, C. História da paisagem e paisagens sem história: a presença humana na floresta atlântica do sudeste brasileiro. **Esboços**, v. 18, n. 25, p. 9-31, 2011.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Sobre o SIN**: mapas. 2021. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas#>. Acesso em: 13 jun. 2021.

PACIFICHYDRO. **Parque eólico Millennium**. 2017a. Disponível em: <http://pacifichydro.com.br/portuguese/projetos/em-operacao/parque-eolico-millennium/>. Acesso em: 21 jan. 2020.

PACIFICHYDRO. **Perguntas frequentes**. 2017b. Disponível em: <http://pacifichydro.com.br/portuguese/informacoes-uteis/setor-eolico-no-brasil/perguntas-frequentes/>. Acesso em: 25 jan. 2020.

PASQUALETTI, M. J. The next generation of energy landscapes. In: BRUNN, S. D. (org.). **Engineering Earth**. Dordrecht: Springer, 2011. p. 461-482.

PASQUALETTI, M. J.; STREMKER, S. Energy landscapes in a crowded world: a first typology of origins and expressions. **Energy and Social Science**, v. 36, p. 94-105, 2018.



SILVA, M. B.; KALKREUTH, W. Petrological and geochemical characterization of Candiota coal seams, Brazil — Implication for coal facies interpretations and coal rank. **International Journal of Coal Geology**, v. 64, n. 3/4, p. 217-238, 2005.

SILVA, R. O. **Roda de memória Usina Termoelétrica Candiota I – Usina Velha**: contribuição à história do patrimônio industrial de Candiota/RS. 2018. Monografia (Especialização em Patrimônio Cultural) – Centro de Artes, Universidade Federal de Pelotas, 2018.

SMIL, V. World history and energy. *In*: CLEVELAND, C. (org.). **Encyclopedia of energy**, v. 6. Amsterdam: Elsevier, 2004. p. 549-561.

SOARES, D. F. Implantação da energia eólica no estado da Paraíba, Brasil: estudo de caso dos Parques dos Ventos e Millennium, Mataraca-PB. *In*: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 18., 2016, São Paulo. **Anais** [...]. Disponível em: <http://engemausp.submissao.com.br/18/anais/>. Acesso em: 21 jan.2020.

STATE GRID BRAZIL HOLDING. **Notícias sobre as linhas do Sistema Xingu-Rio**. 15 abr. 2019. Disponível em: <https://www.stategrid.com.br/noticias-sobre-as-linhas-do-sistema-xingu-rio/>. Acesso em: 12 jan. 2020

UNITED STATES NATIONAL REGULATORY COMMISSION. **Decommissioning nuclear power plants**. 2018. Disponível em: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/decommissioning.html>. Acesso em: 30 jan. 2020.

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION. **Nuclear power in Brazil**. 2018. Disponível em: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/brazil.aspx>. Acesso em: 1 maio 2018.