

ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO RENOVÁVEL BASEADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA: CASO DO LITORAL NORTE, RS

Flávia C. Farina¹

Ricardo N. Ayup-Zouain¹

Tatiana Silva da Silva¹

RESUMO

Este artigo apresenta uma metodologia baseada em SIG para identificação e localização do potencial energético renovável a fim de contribuir com a exploração energética sustentável nas zonas costeiras. A metodologia desenvolvida é aplicada no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, com área total de 4.469 km² e abrange 17 municípios. Foi elaborado um banco de dados contendo *layers* temáticos de cobertura e uso da terra, hidrografia, geologia/geomorfologia, modelo digital de elevação (MDE), insolação, radiação solar, potencial eólico e informações estatísticas de população, produção agrícola e consumo de energia elétrica. Procedimentos de análise espacial, seleção de atributos, reclassificação, *overlays* e análises qualitativas e quantitativas foram aplicados, com vistas à criação de um quadro geral das fontes renováveis predominantes, da diversificação da matriz energética e do possível potencial de aproveitamento. Os resultados indicam que todos os municípios litorâneos apresentam pelo menos duas fontes de energia renovável passíveis de aproveitamento (resíduos de biomassa, pequenas hidrelétricas, solar e eólica) e 14 deles possuem alto ou oitavo alto potencial energético renovável.

Palavras-chave: Sistemas de Informação Geográfica; Energias Renováveis; Análise Ambiental; Litoral Norte do RS.

ABSTRACT

GIS-based assessment of the renewable energy potential in the North Littoral of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. The present study aims to present a methodology based on GIS to identify and locate the renewable energy potential as a contribution to sustainable energy exploration in coastal zones. The developed methodology was applied to North Littoral of Rio Grande do Sul, including 17 municipalities. A database was developed containing thematic layers of coverage and land use, hydrography, geology/geomorphology, digital terrain model (DTM), insolation, solar radiation, wind energy potential, and statistical information about population, agricultural production and electrical energy consumption. Processes of spatial selection, attributes selection, reclassification, overlays, and qualitative and quantitative analyses were applied in order to creating a general table of the predominant energy sources, the diversification of the energy matrix and the possible harnessing potential. The results show that all of the coastal municipalities offer at least two renewable energy sources that can be exploited, fourteen of which possess very high or high renewable energy potential.

Keywords: GIS; Renewable Energy; Environmental Analysis; North littoral of Rio Grande do Sul.

¹ Lab. de Modelagem de Bacias, Depto. de Geodésia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail para correspondência: flavia.farina@ufrgs.br

INTRODUÇÃO

Atualmente, há uma tendência mundial alinhada aos estudos sobre fontes alternativas de energia. Essa é uma necessidade premente, embora se possa considerá-la retardatária diante da percepção dos problemas ambientais e sociais oriundos da utilização de combustíveis fósseis. O setor de energia é responsável por dois terços das emissões de gases de efeito estufa e estima-se que os custos da mudança climática em termos de adaptação atinjam US\$ 50 a 170 bilhões até 2030, metade dos quais poderiam ser arcados pelos países em desenvolvimento (PNUMA, 2011).

Apesar das condições naturais propícias, da expansão de parques eólicos e dos programas de incentivo, o Brasil ainda está distante em aproveitar o potencial eólico, solar e hidrelétrico de menor impacto, se concentrando em setores consolidados como o setor de biocombustíveis e o setor hidrelétrico de grande porte. O Balanço Energético Nacional (EPE, 2014) aponta que a participação das energias renováveis na matriz elétrica brasileira no ano de 2013 atingiu 79,3%, valor considerado alto se comparado ao índice mundial (20,3%) e ao dos países membros da OCDE (18,1%). Porém, uma análise mais aprofundada, revela que neste elevado percentual, a participação da energia hidráulica é de 70,6%, pautada em grandes empreendimentos de elevados impactos ambientais e sociais. Além disso, circunstâncias meteorológicas desfavoráveis podem reduzir o nível dos reservatórios, obrigando a ampliação da geração térmica, especialmente das usinas movidas a carvão mineral.

A energia elétrica gerada pelos parques eólicos corresponde a apenas 1,1% da matriz renovável e a utilização da energia solar é incipiente devido à pequena produção baseada, principalmente, em sistemas fotovoltaicos e aquecedores solares instalados em residências ou em prédios comerciais (EPE, 2014; REN21, 2014). O Atlas Brasileiro de Energia Solar estimou que os valores de radiação solar incidente em qualquer região do país são superiores aos da maioria dos países da União Europeia, onde os incentivos em energia solar são amplamente disseminados (Pereira *et al.*, 2006).

Mesmo distante do ritmo ideal, os projetos ligados às fontes renováveis apresentam uma tendência crescente em termos de número de iniciativas, abrangência geográfica e investimentos públicos e privados. Relevantes estudos têm sido produzidos em diversas esferas do setor público visando apontar diretrizes à exploração e estimar o potencial renovável do país (Pereira *et al.*, 2006; ANEEL, 2008; Coelho *et al.*, 2012). Nesta direção, o sensoriamento remoto e os SIGs representam uma ferramenta essencial para tais estudos, onde se é requerido um conjunto de informações em termos da caracterização das áreas, levantamento, espacialização e avaliação das potencialidades energéticas.

De forma geral, as técnicas de sensoriamento remoto são capazes de produzir grande quantidade de subsídios ao conhecimento dos recursos disponíveis e das limitações do ambiente. Assim, apesar dos desafios atuais do planejamento baseado em SIG em relação à sua integração com os sistemas de energia e à disponibilidade, homogeneidade e estrutura dos dados (Resch *et al.*, 2014), os SIGs têm sido amplamente utilizados para a construção de bases de dados e para a modelagem de variáveis que compõem o estudo do potencial energético, incluindo-se todas as etapas do processo (Muller *et al.*, 2006; Ramachandra e Shruthi, 2007; Omitaomu *et al.*, 2012; Blankenhorn e Resch, 2014; Martins *et al.*, 2014). Neste contexto, esse trabalho apresenta uma metodologia baseada em SIG e aplicada no Litoral Norte do Rio Grande do Sul para identificação, espacialização e análise preliminar do potencial energético renovável no sentido de contri-

buir para a exploração energética sustentável. Ainda, a partir do banco de dados elaborado para a área de estudo, a proposta visa criar um quadro geral das fontes renováveis predominantes e da diversificação da matriz energética renovável, para enfim discutir algumas alternativas de aproveitamento.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia desenvolvida é testada em um setor do Litoral Norte do Estado do Rio Grande do Sul, com área total de 4.469 km², abrangendo 17 municípios: Arroio do Sal, Capão da Canoa, Caraá, Dom Pedro de Alcântara, Imbé, Itati, Mampituba, Maquiné, Morrinhos do Sul, Osório, Santo Antônio da Patrulha, Terra de Areia, Torres, Tramandaí, Três Cachoeiras, Três Forquilhas e Xangri-lá (Figura 1).

Trata-se de uma área composta em sua maior parte por ambientes deposicionais lagunares e marinhos da Planície Costeira em contato, ao oeste, com o Planalto das Araucárias, caracterizando uma transição através de escarpamento abrupto, com vales em formato de “V”, por vezes atingindo 1.000 metros de desnível (Villwock e Tomazelli, 1995). A geomorfologia regional e os sistemas de circulação atmosférica, com influência sobre o Estado, repercutem acentuadamente no regime de ventos. A variação direcional é atribuída aos efeitos da topografia, como a baixa frequência de ventos oeste nos locais protegidos pelo Planalto. Já na Planície Costeira, na primavera e no verão há predominância de ventos de direção nordeste, oriundos do Anticiclone Atlântico. No outono e no inverno, quando penetram os ventos do Anticiclone Móvel Polar, há predominância de ventos do oeste e sudoeste (Tomazelli, 1993).

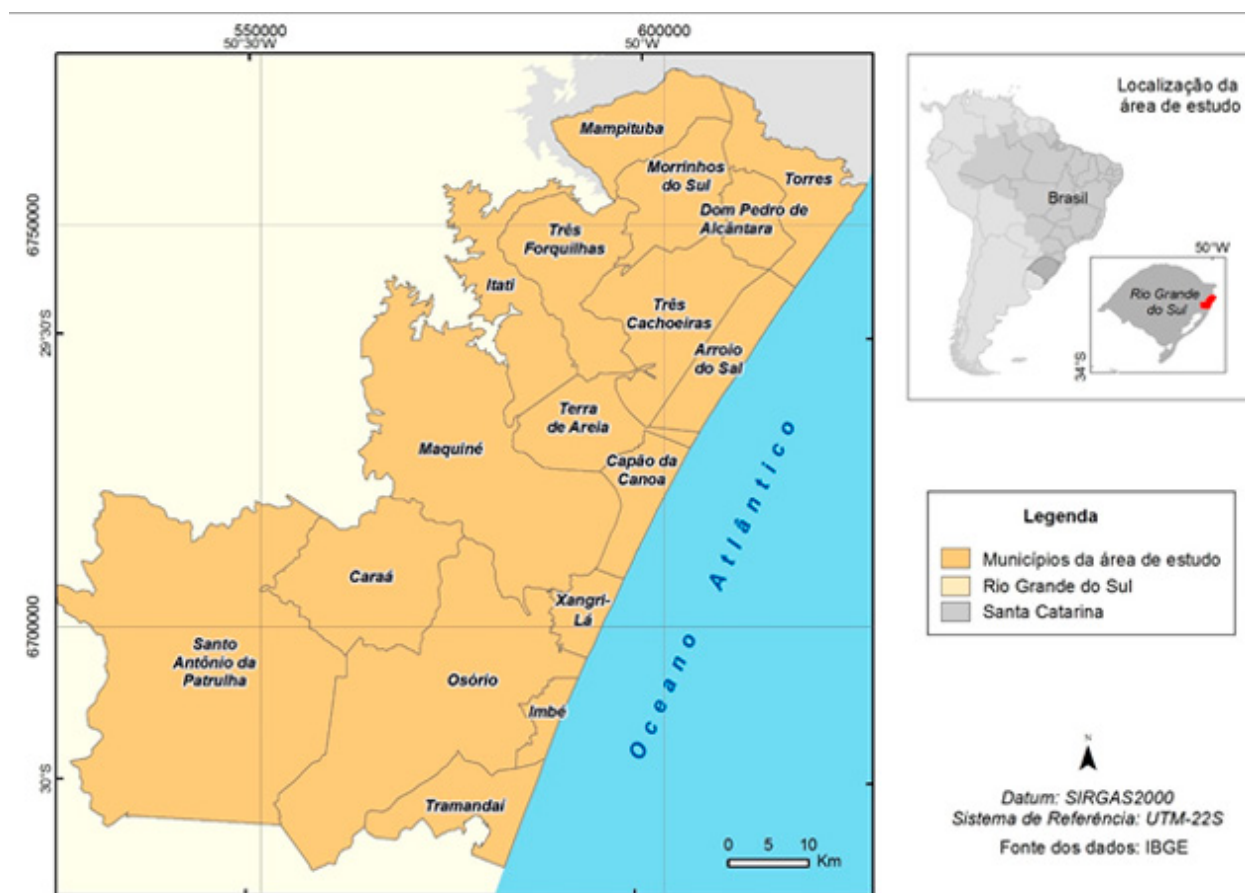


Figura 1. Localização e delimitação da área de estudo.

A população total da região é 285.261 habitantes segundo o IBGE (2010), distribuída em 16% na zona rural e 84% na zona urbana. As atividades econômicas, de maneira geral, estão vinculadas ao turismo, à silvicultura, à agropecuária, à construção civil, ao comércio varejista e ao setor de serviços. A indústria de transformação desenvolve atividades ligadas à extração vegetal e ao beneficiamento da produção agrícola. No contexto energético renovável, os municípios de Osório e Cidreira merecem destaque pelos parques eólicos instalados. O consumo anual total de energia elétrica se aproxima dos 490.000 MWh (FEE, 2006), sendo a categoria de maior consumo a residencial cujos valores aumentam consideravelmente nos meses de veraneio, quando alguns municípios experimentam o acréscimo de até 900% de pessoas com relação à população total.

As etapas envolvidas na execução do estudo podem ser assim resumidas: i) levantamento e seleção dos antecedentes; ii) estruturação do banco de dados em ambiente SIG; iii) entrada e tratamento dos dados; v) elaboração de mapas primários; vi) levantamento de campo; vii) elaboração de mapas derivados; viii) análises em SIG; ix) discussão e avaliação dos resultados.

O levantamento dos antecedentes resultou na elaboração de um diagnóstico da área de estudo, contendo a caracterização dos meios físico e socioeconômico, mapas temáticos e dados estatísticos. Tal diagnóstico embasou a seleção dos recursos renováveis presentes na região, assim, definiu-se como foco do estudo o aproveitamento das fontes eólica, solar, hidrelétrica gerada a partir de pequenas hidrelétricas (PCHs) e dos resíduos da biomassa oriundos das atividades agrícola e florestal.

Definidos os recursos naturais a serem considerados, iniciou-se a estruturação do banco de dados e a entrada das informações no *software* ArcGIS 10.2. Os *layers* que compõem a base de dados preliminar são: i) limites municipais; ii) cartas topográficas digitais; iii) mosaico de imagens do satélite SPOT 5; iv) cobertura e uso da terra; v) geologia/geomorfologia; vi) estimativas do potencial eólico; vii) disponibilidade de radiação solar; viii) modelo digital de elevação (MDE) e; ix) modelo de insolação. Também foram inseridas informações estatísticas sobre demografia, produção agrícola, extrativismo vegetal, pecuária, produção industrial e consumo de energia (FEE, 2006; IBGE, 2010).

A base cartográfica é composta pelos limites municipais (IBGE, 2005), em escala 1:500.000, e pelo mosaico de 17 cartas topográficas em escala 1:50.000, obtidas em formato vetorial digital, junto a 1ª. Divisão de Levantamento do Exército Brasileiro. Entre os *layers* das cartas topográficas, o sistema viário e a hidrografia foram atualizados a partir de imagens obtidas no Google Earth, datadas do período compreendido entre 2010 e 2014. O mapa geológico/geomorfológico é baseado no trabalho de Villwock e Tomazelli (1995), embora tenham sido utilizadas informações oriundas do RadamBrasil (1978) para pequenas áreas ao noroeste, não contempladas pelos autores. Para confecção do MDE utilizou-se como dados de entrada as curvas de nível e os pontos cotados das cartas topográficas que foram interpolados, gerando uma grade irregular triangular (*Triangular Irregular Network*).

O mapa de cobertura e uso da terra, originalmente produzido com base no mosaico de imagens do satélite SPOT 5 (Farina, 2009), foi atualizado pelo método da interpretação visual sobre as imagens obtidas no Google Earth. Como resultado, obteve-se as seguintes classes: Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Densa Secundária, Campo, Mata de Restinga, Vegetação Rupestre, Campo Úmido, Banhado, Areia, Agropecuária, Arroz, Banana, Hortigranjeiro, Outros Cultivos (cana, ba-

tata, mandioca e milho), Mineração, Silvicultura, Área Urbana, Hidrografia e Nuvem.

Os mapas originais de estimativa do potencial eólico são oriundos do Atlas Eólico do Rio Grande do Sul (Camargo *et al.*, 2002), em escala 1:2.500.000. Apesar da reduzida escala e da consequente dificuldade no ajuste do dado, esta foi a única fonte disponível ao público sobre o regime de ventos e suas potencialidades para o Estado. Entre os mapas que compõem o Atlas, foram selecionados aqueles que representam o potencial de aproveitamento eólico a 50, 75 e 100 m de altura e que contemplam ventos acima de 7 m/s.

O mapa de radiação solar foi produzido a partir de um estudo proposto por Martinazzo (2004), no qual são desenvolvidos modelos estatísticos de estimativa de radiação solar e apresentados mapas das médias mensais e da média mensal anual de iso-radiação para o Rio Grande do Sul, considerando particularidades regionais que interferem nas variáveis climatológicas, tais como vegetação e relevo. Assim, entre as diversas informações contidas no estudo, optou-se por utilizar os mapas das médias mensais de radiação solar global horizontal e o mapa da média mensal anual de radiação global horizontal. Este último, no contexto da região, apresenta duas classes: 14 e 13 MJ/m². O modelo de insolação consiste na atribuição de valores de azimute para cada pixel do MDE, tendo como referência zero graus para o norte. Assim, o MDE foi classificado em três categorias de posição das vertentes: norte (0° a 112° e 247° a 360°); sul (113° a 246°) e plano.

Tendo sido concluído o banco de dados, operadores de contexto e diversos procedimentos de análise espacial foram aplicados sobre os mapas temáticos, visando especializar cada fonte energética selecionada, traçar um perfil regional e municipal quanto à diversidade das fontes renováveis e discutir algumas alternativas de aproveitamento, conforme exposto adiante.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Energia Solar

A avaliação do potencial para uso de energia solar foi elaborada por meio de um cruzamento de dados do tipo *booleano* entre o modelo de insolação e o mapa de radiação solar média anual diária, face à simplicidade dos critérios e ao reduzido número de variáveis envolvidas. Cada classe de vertente (plano, norte e sul) foi associada, por meio do operador de intersecção “*and*”, a uma classe de disponibilidade de radiação solar (14 MJ/m² ou 13 MJ/m²). Posteriormente, às seis classes resultantes do cruzamento foram atribuídos graus de potencial para aproveitamento desta fonte, priorizando-se a posição das vertentes, pois esta exerce maior influência no aproveitamento energético na medida em que um maior ângulo de incidência resulta na maior concentração de energia por unidade de superfície. Também, esta variável apresenta um comportamento mais heterogêneo ao longo do Litoral Norte.

Os maiores graus de potencial foram atribuídos às classes de vertente que recebem maior insolação diária, considerando esta ordem de importância: plano, norte e sul. Ou seja, na prática, uma mesma vertente, por exemplo, a plana, apresenta dois níveis de potencial para energia solar (muito alto e alto), de acordo com os valores de radiação (14 MJ/m² e 13 MJ/m²). Deste modo, obteve-se as seguintes classes de potencial: muito alto (plano + 14); alto (plano + 13); médio (norte + 14); baixo (norte + 13); muito baixo (sul + 14) e; inadequado (sul + 13). A figura 2 ilustra o resultado das operações.

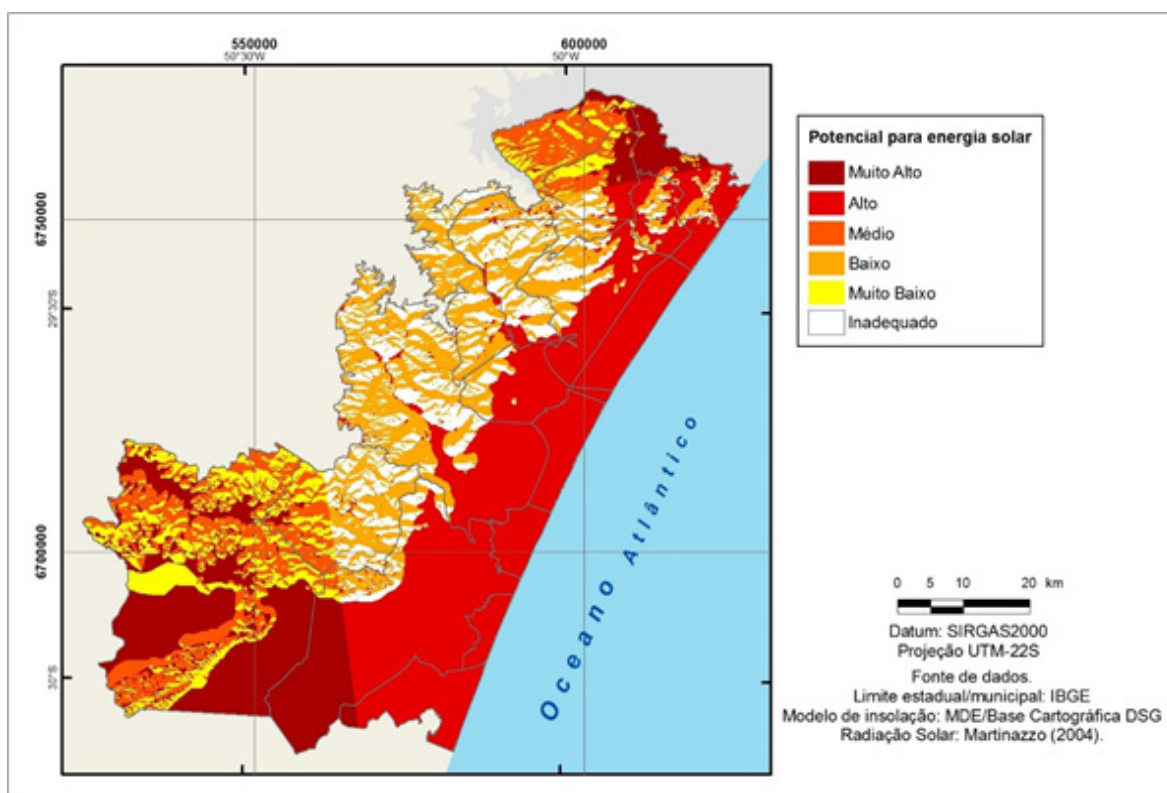


Figura 2. Potencial para utilização da energia solar.

Com o objetivo de traçar um perfil dos municípios quanto à aptidão para a energia solar, o SIG também foi utilizado para examinar em nível municipal, a predominância em termos de área ocupada das seis classes anteriormente obtidas em nível regional. O resultado é a classificação dos municípios em três categorias de potencial: alto, médio e baixo.

Os produtos obtidos permitem inferir que na região é possível o aproveitamento da energia solar com instalação de sistemas fotovoltaicos, como complementação de energia em unidades residenciais ou em propriedades rurais. Contudo, é preciso considerar os diversos fatores que interferem na utilização desta fonte. Os aspectos favoráveis da energia fotovoltaica relacionam-se à produção limpa e permanente, com eficiência energética, já que este sistema reduz quase que completamente a perda de energia devido à proximidade entre a geração e o consumo. Ainda, o sistema não apresenta desgaste, pois não há equipamento móvel, com vida útil superior a 25 anos, é de fácil instalação, não exigindo manutenção, podendo funcionar de forma associada a outras tecnologias. As principais limitações são a autonomia do sistema de até quatro dias sem insolação e a vida útil das baterias de cinco anos. Os custos de instalação do sistema, calculado para o ano de 2016 (Solar, 2016), é aproximadamente R\$ 5.000,00, para geração de 50 kWh/mês. Este valor pode ser considerado elevado para grande parcela da população, mas, por outro lado, o tempo de retorno do investimento é estimado no período de cerca de dois anos.

Energia Hidráulica

Uma pequena central hidrelétrica (PCH) é uma usina hidrelétrica de pequeno porte cuja capacidade instalada de energia seja superior a 1 MW e inferior a 30 MW, com área total do reservatório inferior a 3,0 km² (Resolução ANEEL nº 394 de 04/12/1998). O empreendimento que alcançar a área máxima do

reservatório ainda poderá ser enquadrado nesta modalidade de aproveitamento se atender às condições estabelecidas na Resolução ANNEEL n°. 652 de 09/12/2003.

O projeto para uma PCH é composto por diversos estudos para a verificação de locais apropriados e de viabilidade econômica do empreendimento. Quando os recursos hídricos não constam nos inventários de potencial já realizados pela ANEEL, como é o caso da maioria dos rios da área de estudo, a etapa de verificação inclui a realização de um inventário simplificado para levantar os melhores sítios aproveitáveis (ANEEL, 2003).

Neste sentido, foram examinadas as informações do banco de dados para detecção de áreas com potencial para PCHs. As análises visaram determinar as características físicas do ambiente à localização de empreendimentos desta natureza, considerando a topografia favorável para implantação de barramentos e a respectiva área de contribuição. Estes dois fatores foram observados por meio da hidrografia sobreposta ao MDE.

A simulação da instalação dos barramentos levou em consideração a conformação topográfica do terreno, procurando otimizar a relação entre as características físicas do eixo, as necessidades deste tipo de obra, a acumulação de água necessária e as menores extensões da represa e da área alagada possíveis. Assim, a escolha dos locais se deu através da análise do maior estreitamento entre as curvas de nível, onde represas de alturas variadas foram simuladas de modo a não exceder o limite da área do reservatório indicado pela legislação. Para tal, empregaram-se ferramentas SIG para análises em três dimensões que determinam a altitude, o perfil, o volume e a área do reservatório, a partir do barramento instalado. A figura 3 apresenta o detalhe de um dos locais selecionados para o município de Maquiné, indicando a possível localização de um barramento sobre o MDE e as respectivas áreas de contribuição e do reservatório.

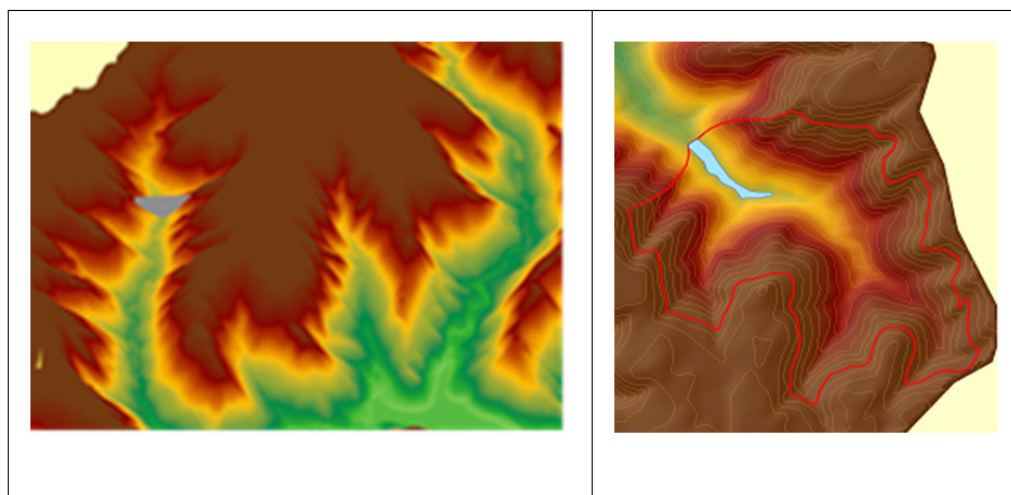


Figura 3. Simulação da localização de um barramento (volume cinza) e as respectivas zona de contribuição (linha vermelha) e superfície alagada do reservatório (área azul).

Ao total foram identificadas 12 zonas possivelmente adequadas à instalação de PCHs, apontadas na figura 4. A avaliação do potencial de cada município se deu com a atribuição de graus de aptidão conforme o número de áreas propícias presentes no seu território, estabelecidos da seguinte forma: alto (3 a 4 zonas); médio (2 zonas); baixo (1 zona) e; inadequado (0 zonas).

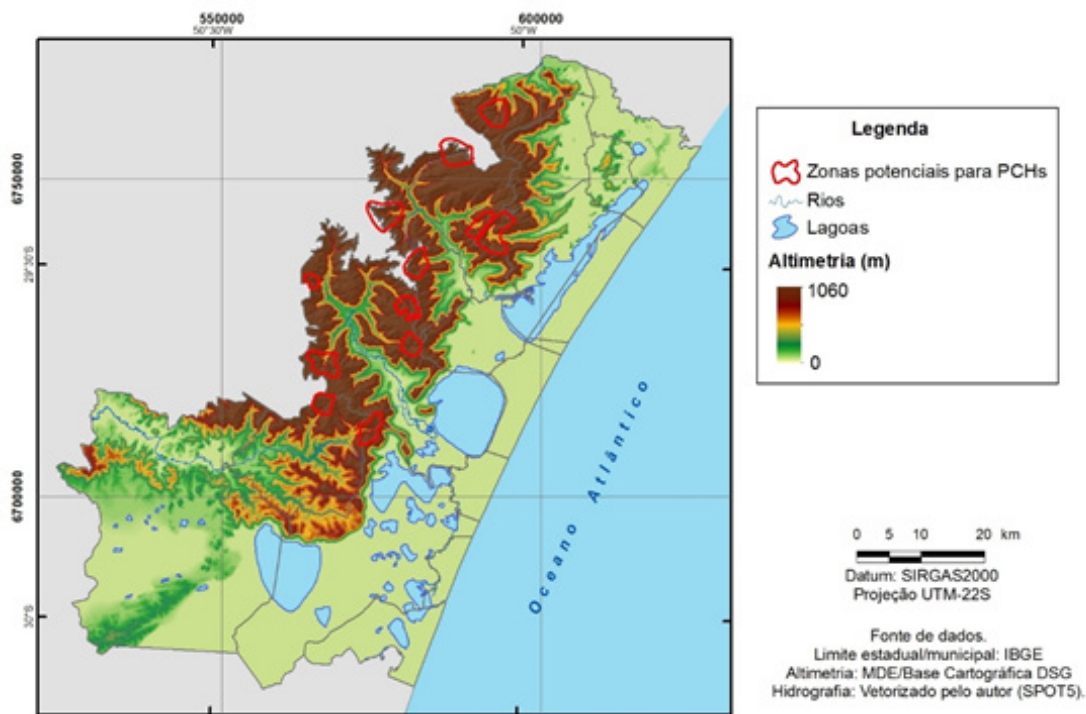


Figura 4. Zonas potenciais para instalação de PCHs.

Mesmo que preliminares, estas informações podem orientar futuros estudos de viabilidade, com a inserção de estimativas de vazão obtidas pelas estações fluviométricas e pluviométricas situadas na região ou pela transposição de vazões e campanhas hidrométricas. Informações detalhadas podem ser obtidas no sítio eletrônico www.portalpch.com.br, onde são apresentados um guia completo e atualizado das etapas de implantação, da legislação, das normas técnicas e das diretrizes para os estudos e projetos de pequenas hidrelétricas.

Resíduos da Biomassa

O conceito de biomassa adotado neste trabalho se refere à denominação genérica para as matérias-primas de origem vegetal que podem ser aproveitadas como fonte de produção de calor, combustível ou eletricidade. Especificamente, definiu-se como fonte de biomassa os resíduos das atividades geradas no meio rural ou na indústria. Os resíduos agrícolas são aqueles produzidos no campo, resultantes das atividades de colheita. São considerados resíduos florestais aqueles gerados e deixados na floresta como consequência das atividades de extração da madeira ou, ainda, aqueles resultantes da indústria madeireira e de mobiliário. Outras atividades locais também produzem resíduos de biomassa, como a fabricação de sucos e aguardente, o beneficiamento de arroz, da cana-de-açúcar e do milho.

A elaboração do mapa das fontes de resíduo de biomassa (Figura 5) partiu da seleção, na tabela de atributos do mapa de cobertura e uso da terra, das classes silvicultura e dos diversos cultivos agrícolas (arroz, banana, hortigranjeiros, outros cultivos). Tais classes são potencialmente geradoras de resíduos e significativas no contexto regional, ocupando 28% da área total. Tendo-se por base a identificação e a localização das fontes produtoras de biomassa, passou-se para a sua avaliação em termos de distribuição e predominância em nível municipal. Os resultados apontam que apenas um município não possui nenhuma

categoria de biomassa, dois municípios possuem uma classe significativa (arroz) e os outros 14 municípios apresentam entre duas a quatro classes.

A representatividade das culturas no contexto municipal e regional foi analisada relacionando-se a área ocupada pelas fontes de biomassa à estas duas escalas. Deste modo, uma variável com pequena expressão no limite municipal pode revelar maior significância se comparada ao contexto regional. Segundo este parâmetro, os municípios foram classificados em níveis de aptidão para geração de energia de biomassa (inadequado, baixo, médio e alto). Assim, sete municípios apresentaram potencial alto e apenas um município é inadequado por não apresentar qualquer tipo de atividade geradora de resíduos de biomassa. Em nível regional, a análise integrada de cada classe de biomassa com a respectiva área ocupada denota a importância da classe arroz, já que esta representa a principal fonte de biomassa em nove municípios e corresponde a 67,85% do conjunto de fontes analisadas.

Apesar de ser um exame preliminar, após estabelecida a identificação e a localização de cada cultura, o estudo pode ser complementado com o cálculo da quantidade produzida, da estimativa do resíduo e do potencial para geração de energia de cada cultura, com o respectivo custo de geração (Padilha *et al.*, 2005; Coelho *et al.*, 2012).

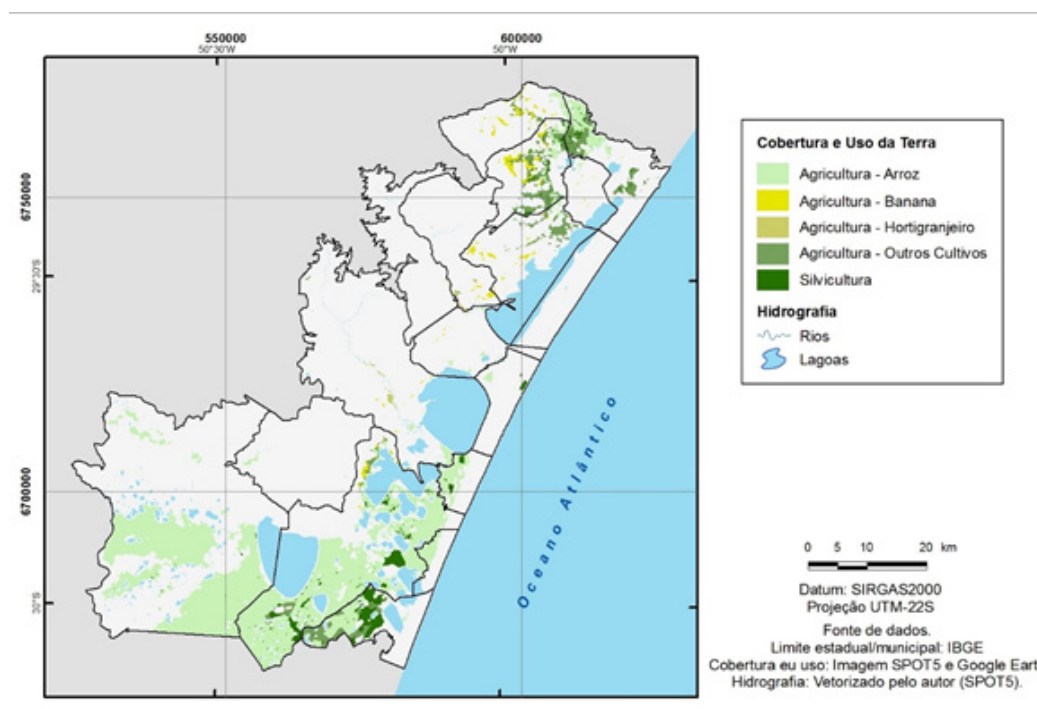


Figura 5. Classes de uso da terra com potencial para geração de energia de biomassa residual.

Energia Eólica

A análise inicial do potencial eólico se deu pela intersecção espacial de dois fatores: fluxo de potência eólica (a 50 m, 75 m e 100 m de altura) e padrão de relevo. A apreciação dos mapas eólicos sobrepostos ao MDE mostrou a predominância dos ventos com velocidade média de 4,0 a 5,0 m/s nos vales; 5 a 6,0 m/s nas áreas de encosta; 7 a 8,5 m/s nas maiores altitudes; 6,0 a 8,0 m/s nas áreas planas interiorizadas e 6,5 a 9,0 m/s nas áreas planas situadas junto à orla marítima.

Assim como a velocidade do vento, o relevo local também é um elemento importante para definir

o formato de aproveitamento eólico. De modo a atender esta relação, para cada classe de relevo/velocidade anteriormente referida, foram relacionados os municípios pertencentes. Posteriormente, foram examinadas as velocidades do vento dentro dos limites de cada município, de acordo com suas especificidades de relevo, para verificar a viabilidade e o formato do empreendimento eólico.

As informações geradas permitem inferências preliminares sobre o tipo de aproveitamento eólico. Ao considerarmos que a produção de energia eólica sob a forma de parques necessita de velocidades médias superiores a 7,0 m/s e de topografia favorável, fica inviabilizada a instalação de empreendimentos de grande porte naqueles municípios que não atendem este critério. No entanto, alternativas voltadas ao pequeno porte podem ser aplicadas em locais de relevo acidentado ou com velocidade mínima do vento de 4m/s, como é o caso dos municípios mais interiorizados. Considerando estes fatores expressos no MDE e no mapa de cobertura e uso da terra, foi elaborado um mapa onde os municípios são classificados de acordo com a aptidão a cada tipo de aproveitamento (Figura 6). A categoria “pequeno formato” foi criada para abranger os municípios que apresentam potencial menor ou relevo desfavorável à implantação de parques, mas que poderiam aproveitar a energia dos ventos com a utilização de pequenos cata-ventos. Também estão incluídos os municípios que possuem velocidades do vento elevadas, no entanto elas ocorrem no topo de morros, onde há predominância de mata nativa, ou junto às áreas urbanas e campos de dunas. Uma segunda categoria, denominada “pequeno formato/parque eólico” abrange seis municípios com amplas áreas livres e potencial eólico compatível à implantação de fazendas eólicas e, conseqüentemente, para aproveitamento de pequeno formato.

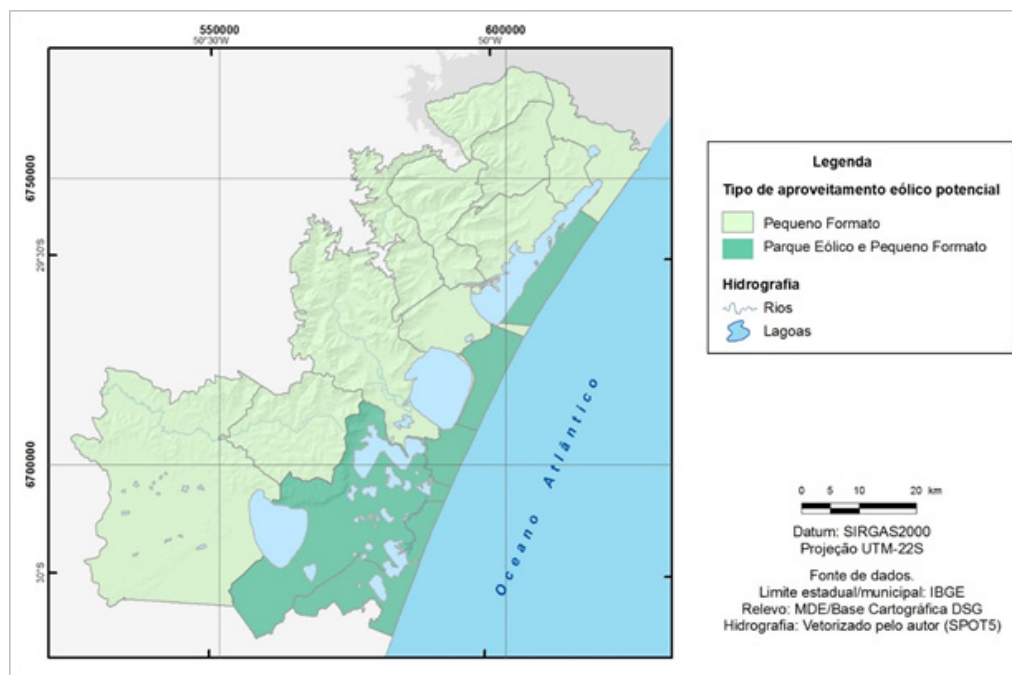


Figura 6. Aptidão dos municípios quanto ao tipo de aproveitamento para energia eólica.

No Brasil há tecnologia disponível comercialmente para geração de energia elétrica em pequena escala, caracterizada pela potência máxima de unidades de KW, utilizadas principalmente em propriedades rurais para o consumo local. Alguns dos sistemas desenvolvidos utilizam pequenos cata-ventos para produção de energia mecânica aplicada em sistemas de bombeamento, irrigação, eletrificação rural ou carregamento de baterias. Estes sistemas isolados requerem velocidade média do vento mínima entre 3,5

m/s a 4,5 m/s, de modo a garantir a viabilidade técnica e econômica. Os dados aqui apresentados podem ser complementados com estudos relacionados à medição local do vento, às estimativas de intensidade e periodicidade e à avaliação mais detalhada das barreiras físicas.

Perfil dos Municípios quanto ao Potencial de Aproveitamento das Energias Renováveis

O estabelecimento do perfil dos municípios em termos das fontes renováveis é desenvolvido considerando a presença de cada fonte em seu território e, dentro deste, o seu grau de aptidão consequente das avaliações anteriores, conforme apresentado na figura 7.

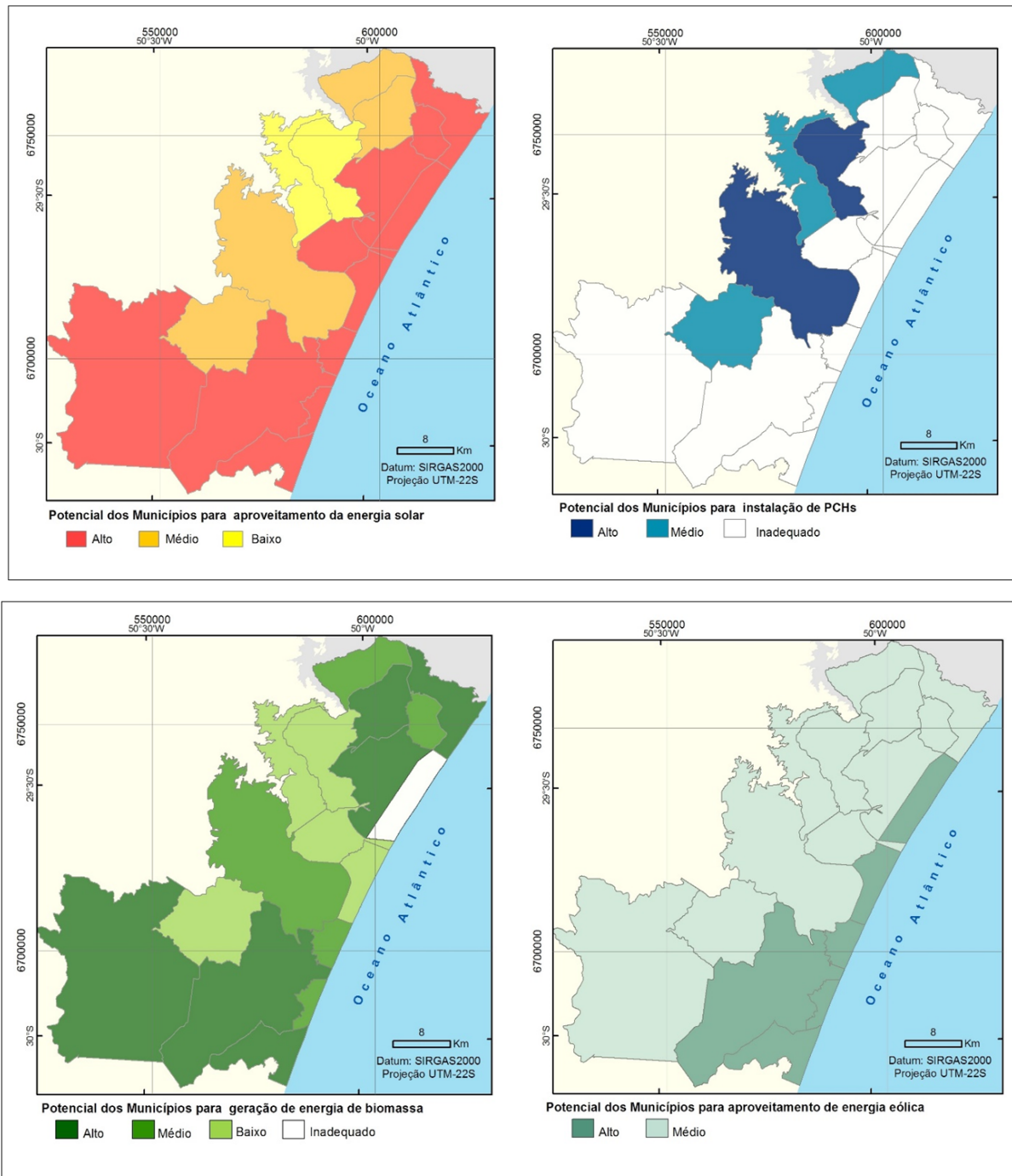


Figura 7. Perfil dos municípios do Litoral Norte para o aproveitamento de energias renováveis.

Os mapas que representam os níveis de aptidão foram então cruzados por meio de um processo de seleções sequenciais dos atributos contidos nas tabelas associadas aos *layers* de cada fonte energética, de forma restritiva (aptidão baixa e/ou inadequada) ou favorável (média e/ou alta). Cabe ressaltar que foram excluídas as classes “baixa aptidão” e “inadequada” para o estabelecimento da análise quantitativa. A avaliação do potencial de aproveitamento em nível municipal se deu pela consideração dos dados anteriores, com atribuição de pesos individuais para cada classe de aptidão às fontes consideradas. A atribuição dos pesos deu-se da seguinte forma: 0 = inadequado; 1 = baixa; 2 = média e; 3 = alta. Um peso final é conferido a partir da soma dos valores individuais. O critério utilizado considera todas as fontes encontradas no município, mesmo aquelas que tiveram associado nível de aptidão baixo.

A correlação de potenciais, fontes e pesos é construída em uma tabela de seleção SQL, associada à informação espacial da área de estudo. O peso resultante em cada município é, então, convertido para níveis de potencial, considerando que o perfil das fontes inclui pelo menos duas categorias em cada município. Portanto, não há classes de baixa aptidão. A tabela 1 demonstra os pesos individuais e final e a conversão deste em níveis de potencial. A espacialização dos graus de potencial e a presença de fontes renováveis passíveis de aproveitamento são ilustradas na figura 8.

Tabela 1. Pesos atribuídos às fontes energéticas e grau de potencial de aproveitamento.

Município	Pesos atribuídos					Potencial
	Biomassa	PCH	Solar	Eólica	Peso Final	
Arroio do Sal	0	0	3	2	5	Médio
Capão da Canoa	1	0	3	2	6	Alto
Caraá	1	2	2	1	6	Alto
Dom Pedro de Alcântara	2	0	3	1	6	Alto
Imbé	2	0	3	2	7	Alto
Itati	1	2	1	1	5	Médio
Mampituba	2	1	2	1	6	Alto
Maquiné	2	3	2	1	8	Muito Alto
Morrinhos do Sul	3	0	2	1	6	Alto
Osório	3	0	3	2	8	Muito Alto
Santo Antônio da Patrulha	3	0	3	1	7	Alto
Terra de Areia	1	0	3	1	5	Médio
Torres	3	0	3	1	7	Alto
Tramandaí	3	0	3	2	8	Muito Alto
Três Cachoeiras	3	0	3	1	7	Alto
Três Forquilhas	1	3	1	1	6	Alto
Xangri-lá	2	0	3	2	7	Alto

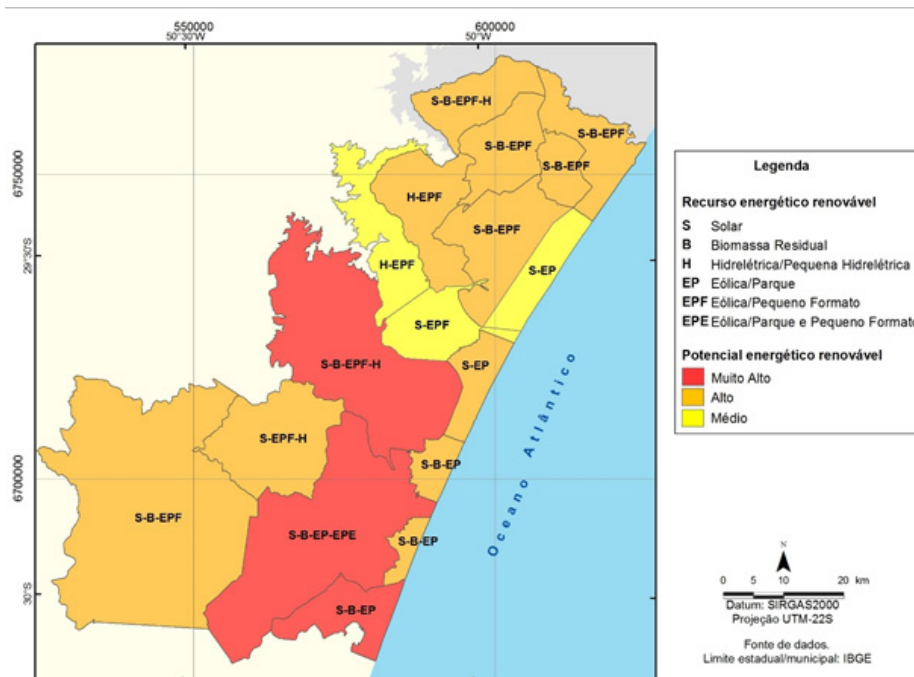


Figura 8. Perfil dos municípios quanto à presença significativa de fontes renováveis e quanto ao potencial aproveitamento.

CONCLUSÕES

A análise integrada das informações demonstra condições ambientais e geográficas favoráveis para exploração de fontes renováveis ao longo de todo Litoral Norte. A maior parte da região (em torno de 87%) apresenta potencial alto ou muito alto para aproveitamento dessas fontes. A presença mais frequente nos municípios é associada, em ordem de importância, à energia eólica, solar, seguidas pela biomassa e PCHs. A dominância da primeira se dá, em parte, devido a suas características que conferem versatilidade ao tipo de aproveitamento, ou seja, podem operar em pequena escala ou para uso local.

As informações produzidas representam um indicativo da potencialidade para produção de energia, sendo necessário aprofundar os estudos da estimativa de capacidade de geração de energia para todos os recursos renováveis especificados, a fim de avaliar se a geração de energia a partir destes recursos é suficiente para atender a demanda local ou regional. A viabilidade econômica de futuros empreendimentos pode se valer de programas do governo que buscam a maior inserção de fontes renováveis na matriz energética brasileira, como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFRA). Tais programas estimulam a produção de energia elétrica com base nas fontes eólicas, PCHs e biomassa. Ainda, criam novas formas de incentivos financeiros para ações que aumentem os atuais níveis de aquecimento de casas e edifícios utilizando energia solar e financiam a geração de energia de biomassa, eólica e de pequenas hidrelétricas.

Neste contexto, o SIG é uma importante ferramenta, na medida em que a informação é tratada próxima da realidade, apresentando diversas alternativas de cenários do ponto de vista ambiental, econômico e social. Para tal, é necessário conceber, construir e manter atualizado um sistema integrado de informações geográficas, com os objetivos de informar as características específicas de regiões, incentivar investimentos

e contribuir para o desenvolvimento sustentável e para os programas nacionais de geração de energia.

Uma limitação encontrada diz respeito à disponibilidade dos dados, principalmente aqueles produzidos por órgãos públicos. Muitas informações de elevada importância não puderam ser incorporadas ao estudo em razão do governo do Estado do RS possuir apenas mapas em formato PDF, o que dificulta a sua manipulação adequada em ambiente SIG, restringindo as opções de análises de um amplo instrumental de ferramentas disponíveis. Por diversas vezes, também, há desatualização e incoerência das informações entre os diversos setores e a produção de uma mesma informação por diferentes órgãos públicos, no entanto, descontinuadas ou agrupadas de formas variadas, impossibilitando comparações ou avaliações temporais.

Uma importante consideração deve ser feita a respeito do uso da ferramenta SIG. Em alguns procedimentos realizados, pode-se incorrer a erros originados pela subjetividade do analista. Este fato se dá, principalmente, quando dados são cruzados a partir de uma regra de decisão. O método utilizado deve ser revisto em cada local em que for aplicado, principalmente no que diz respeito ao estabelecimento de graus de potencial para cada fonte energética, ou ainda, aos pesos adotados no estabelecimento do perfil dos municípios para geração de energia.

REFERÊNCIAS

- AMARANTE, O. A. et al. 2001. Atlas do potencial eólico brasileiro. Brasília: MME. Disponível em: <http://www.em.ufop.br/ceamb/petamb/cariboost_files/atlas_capa.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2015.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. 2008. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 243p.
- _____. 2003. **Guia do empreendedor de pequenas centrais hidrelétricas**. Brasília: ANEEL, 704p.
- BLANKENHORN, V.; RESCH, B. 2014. Determination of Suitable Areas for the Generation of Wind Energy in Germany: Potential Areas of the Present and Future. ISPRS, **International Journal of Geo-Information**, 3(3):942-967.
- CAMARGO, O. A. et al. 2002. **Atlas eólico: Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria de Energia Minas e Comunicações, 70p.
- COELHO, S. T. et al. 2012. **Atlas de bioenergia do Brasil**. São Paulo: CENBIO, 66p.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. 2014. **Balanco energético nacional 2014: ano base 2013**. Rio de Janeiro: EPE, 288p.
- DAHLE, D. et al. 2008. **Assessing the potential for renewable energy development on DOE legacy management lands**. Golden: National Renewable Energy Laboratory, 156p.
- FARINA, F. 2009. **Sistema de Informação Geográfica estratégico do potencial energético renovável da planície costeira norte do RS**. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 185p.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. IBGE Cidades@. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12 fev. 2014.
- MARTINAZZO, C. A. 2004. **Modelos de estimativas de radiação solar para elaboração de mapas solarimétricos**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 185p.
- MME, Ministério das Minas e Energias. 2014. Programa de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica. Dis-

ponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/proinfra>>. Acesso em: 15 nov. 2015.

MARTINS, F. R. et al. 2006. Mapeamento dos recursos de energia solar no Brasil. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2006, Florianópolis. 6p.

MULLER, M. D. et al. 2006. Uso de ferramentas de Geoprocessamento para mapeamento e estimativa de biomassa florestal no Brasil. **Boletim Técnico RENABIO**, 1:1-33.

OMITAOMU, O. A. et al. 2012. Adapting a GIS-based multicriteria decision analysis approach for evaluating new power generating sites. **Applied Energy**, 96:292–301.

PADILHA, J. L. et al. 2005. Potencial de geração de energia elétrica no estado do Pará, utilizando biomassa do setor madeireiro. **Biomassa e Energia**, 2(4):267-284.

PEREIRA, E. P. et al. 2006. **Atlas brasileiro de energia solar**. São Jose dos Campos: INPE, 60p.

PNUMA, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. 2011. **Rumo a uma economia verde**. Caminhos para o desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza – síntese para tomadores de decisão. Brasília: PNUMA, 52p. Disponível em: <www.unep.org/greeneconomy>. Acesso em: 12 abr. 2015.

RADAMBRASIL. 1978. **Levantamento dos recursos naturais**. v. 33. Brasília: MME Energia, 796p.

RAMACHANDRA, T. V.; SHRYTHI, B. V. 2007. Spatial mapping of renewable energy potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 11:1460-1480.

REN21, Renewable Energy Policy Network for de 21st Century. 2014. **Renewables 2014: global status report**. Paris: REN21, 216 p.

RESCH, B. et al. 2014. GIS-Based Planning and Modeling for Renewable Energy: Challenges and Future Research Avenues. **ISPRS, International Journal of Geo-Information**, 3(2):662-692.

SOLAR. 2016. Simulador de custo de sistema de energia solar fotovoltaica. Disponível em: <http://www.portalsolar.com.br/calculo_solar>. Acesso em: 10 fev. 2016.

TOMAZELLI, L. J. 1993. O regime de ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, 20(1):18-26.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. 1995. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas CECO/IG**, 8:1-45.

