

3. ALTERNATIVAS LOCACIONAIS E TECNOLÓGICAS

3.1. ALTERNATIVAS LOCACIONAIS

A energia eólica - produzida a partir da força dos ventos - é abundante, renovável, limpa e disponível em muitos lugares. Essa energia é gerada por meio de aerogeradores, nos quais a força do vento é captada por hélices ligadas a uma turbina que aciona um gerador elétrico. A quantidade de energia transferida é função da densidade do ar, da área coberta pela rotação das pás (hélices) e da velocidade do vento.

A avaliação técnica do potencial eólico exige um conhecimento detalhado do comportamento dos ventos. Os dados relativos a esse comportamento - que auxiliam na determinação do potencial eólico de uma região - são relativos à intensidade da velocidade e à direção do vento. Para obter esses dados, é necessário também analisar os fatores que influenciam o regime dos ventos na localidade do empreendimento. Entre eles pode-se citar o relevo, a rugosidade do solo e outros obstáculos distribuídos ao longo da região.

Apesar do potencial eólico do Brasil ser imenso em números absolutos, paradoxalmente não é qualquer local que viabiliza economicamente um empreendimento eólico. É necessária a conjunção de vários fatores de ordem técnica, ambiental, jurídica, estrutural e econômico-financeira. Além do investimento nos equipamentos de geração da usina eólica, da tarifa de venda da energia, das condições de financiamento, as características técnicas de cada sítio têm grande influência na atratividade do negócio.

Para ser viável, é imperativo que o projeto de uma usina eólica busque sua implantação em locais com abundância em vento, com velocidades médias anuais que maximizem a produção de eletricidade a fim de que possa ser competitivo com outros projetos de geração de energia e ser viável e rentável economicamente. Também os aspectos de infraestrutura são importantes: existência de estradas de acesso para transporte de equipamentos e sistema elétrico reforçado para suportar a conexão e escoamento da energia produzida pela usina.

Os requisitos para viabilização técnica de projetos eólicos baseiam-se num tripé:

- Recurso Eólico Disponível: vento na intensidade e constância exigida;

- Infraestrutura da Região: estradas de acesso para o transporte de equipamentos, e conexão elétrica para escoamento da energia gerada;
- Disponibilidade de Terrenos: a área deve ser compatível com o porte do empreendimento, e a documentação deve ser regularizada e sem impedimentos ambientais.

A falta de qualquer um desses itens basta para inviabilizar o projeto de uma usina eólica.

O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (BRASIL, 2001) mostra um potencial bruto de 143,5 GW, o que torna a energia eólica uma alternativa importante para a diversificação do "mix" de geração de eletricidade no País. O maior potencial foi identificado na região litoral do Nordeste e no Sul e Sudeste. O potencial de energia anual para o Nordeste é de cerca de 144,29 TWh/ano; para a região Sudeste, de 54,93 TWh/ano; e, para a região Sul, de 41,11 TWh/ano.

O estado do Piauí possui, especialmente no litoral, uma expressiva potencialidade para a geração de energia eólica devido a sua situação geográfica favorecido pelas correntes eólicas, encontrando-se em baixas altitudes na Zona de Convergência Intertropical que recebe influência dos ventos alísios de leste e brisas terrestres e marinhas com ventos que vêm do Hemisfério Norte. Essa combinação resulta em ventos médios anuais entre 7,0 m/s a 9,0 m/s no litoral que faz com que o litoral do Piauí possua grande potencial de geração de energia eólica.

Também nas porções mais elevadas do estado do Piauí, a altitude influencia sobremaneira na velocidade dos ventos uma vez que não há anteparos que formem barreiras aos ventos.

Os estudos relativos à oferta de fonte de energia e a existência de ambientes ideais para exploração do potencial eólico desenvolvidos no estado apontam, através de medições em anemômetros e também a partir de ensaios de computadores, a velocidade média e a direção predominante dos ventos também na região das serras interiores como mostra o Mapa Eólico do Brasil produzido pelo Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) (ver Figuras 3.1 e 3.2).

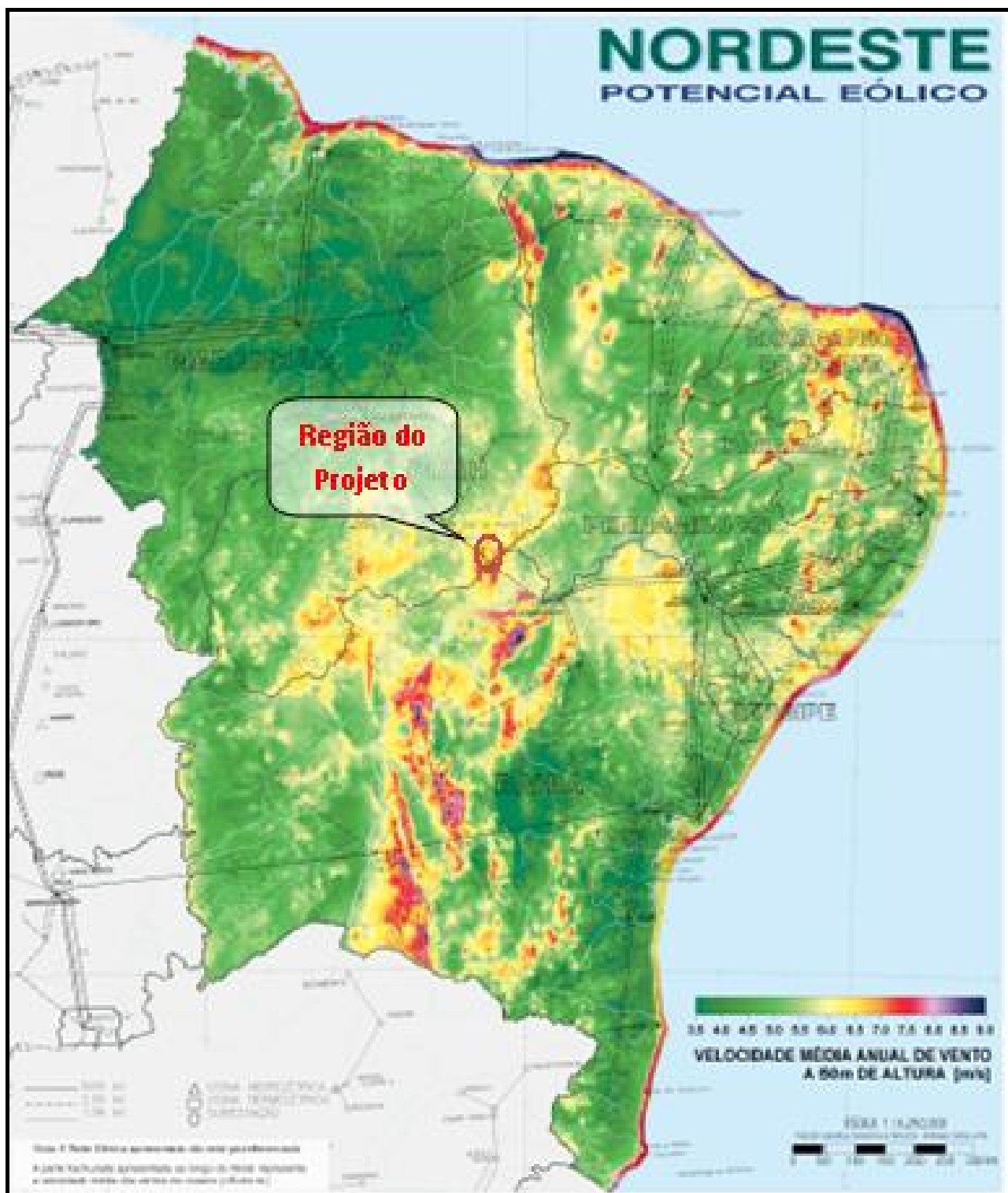
Tais estudos destacam os locais com potencialidade à exploração da energia eólica, de forma que a seleção de área foi feita sob embasamento técnico e científico, conjugando, locais com potencialidade eólica constante, facilidades de infraestrutura e disposição de terrenos, dentre outros.

Figura 3.1 – Localização da Área do Empreendimento no Mapa do Potencial Eólico Brasileiro



Fonte: Adaptado de Atlas do Potencial Eólico do Brasil (BRASIL, 2001).

Figura 3.2 – Localização da Área do Empreendimento no Mapa do Potencial da Região Nordeste



Fonte: Adaptado de Atlas do Potencial Eólico do Brasil (BRASIL, 2001).

Os fatores que resultaram na eleição da área do projeto entre as diversas áreas potenciais estudadas no Piauí são os seguintes:

- situação geográfica ideal, em ambiente contemplado por correntes eólicas regulares e dotadas de velocidades significativas, e em áreas situadas em superfície topograficamente elevada;
- disponibilidade de terrenos, que ofereçam grandes áreas livres, baixa densidade demográfica, com pouca variação altimétrica e com condicionantes ambientais mais tenuous ou com menos conflitos com a atividade turística, como ocorre normalmente nas regiões litorâneas;
- existência de infraestrutura básica na região de entorno para dar suporte a implantação e operação do empreendimento;
- existência de levantamentos quanto ao potencial eólico da região.

Sendo assim, a seleção das áreas para a implantação do **COMPLEXO EÓLICO PIAUÍ** seguiu uma linha de análise de critérios técnico e legais. O primeiro deles foi identificar pontos que indicassem que havia bons ventos no local, como a vegetação, direcionamento dos ventos e topografia.

Para a avaliação do recurso eólico de Aura Lagoa do Barro foram disponibilizadas duas TMA, qual sejam: a TMA AC8901 e AC8902; todas as TMA do tipo treliçada de seção triangular, equipadas com sensores de velocidade Thies Clima First Class a 100, 80 e 60 metros de altura; sensores de direção Ornytion 207P a 100 e 80 metros; sensor de temperatura e umidade Galtec Mess + Mela a 14 metros de altura; sensor de pressão Sentra-Systems a 14 metros de altura e Datalogger EOL Zenith Kintech a 14 metros.

Na busca por um conjunto de dados de longo prazo que pudesse ser utilizado com uma boa margem de segurança para Aura Lagoa do Barro, e após se avaliar os dados de estações do INMET, como Paulistana/PI e São João do Piauí/PI, quanto a continuidade dos dados e qualidade, optou-se por usar dados do Projeto MERRA1, que conta com uma base de dados de 35 anos e resolução espacial de 50 quilômetros. Foram obtidos dados do MERRA interpolados a partir de 20 anos de dados, com respeito aos quatro pontos mais próximos da localização de cada TMA em Aura Lagoa do Barro. Após a obtenção dos dados foram realizados vários testes de correlação entre as séries do MERRA e as TMA.

A topografia do terreno foi fornecida em um arquivo vetorial com equidistância das curvas de nível de 1 metro, proveniente de levantamento a laser, dividido em quatro (4) partes que tiveram que ser unificadas para possibilitar sua utilização. Contudo, o alto detalhamento do dado oriundo da equidistância de 1 metro acarretou um volume de

dados superior à capacidade de processamento suportável pelo modelo de escoamento. A solução para esse problema foi gerar curvas de nível com equidistância de 5 metros.

A altitude da localização escolhida para a implantação tem um valor médio de 600 m e orientação que assegura uma boa exposição dos aerogeradores aos ventos dominantes.

A rugosidade do terreno tomou como base inicial a classificação de CLC (Coraline Land Cover), com maior detalhamento para ajuste à variabilidade da rugosidade, realizada pela Aeroespacial e mostrada na tabela a seguir. Ao todo foram identificados 09 comprimentos de rugosidade distintos dentro da área de interesse apresentados na tabela a seguir. Nenhum obstáculo significativo foi identificado nas proximidades da área, na direção do vento predominante, para inclusão no modelo.

Em seguida, foram identificados proprietários na região que tivessem interesse em disponibilizar uma ou mais áreas para projetos eólicos.

Diante das condições pré-definidas foram estudadas três áreas para a implantação do Complexo Eólico Piauí.

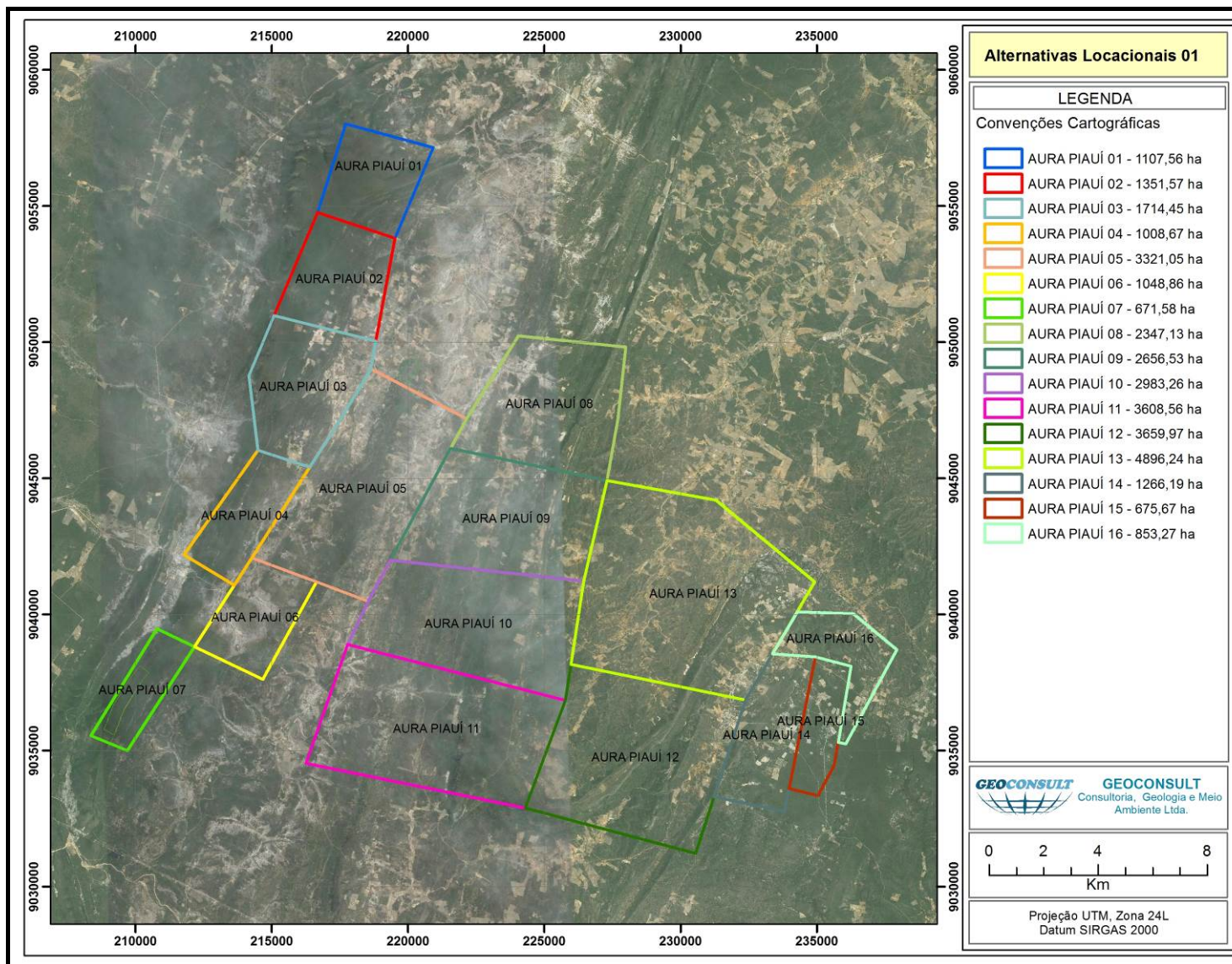
3.1.1. Alternativa Locacional 01

Na Alternativa 01 considerou-se a implantação de 16 (dezesesseis) Parques Eólicos ocupando uma área 33.170,56 hectares com potencial de geração de 357,0 MW.

Aspectos Favoráveis	Aspectos Desfavoráveis
- Grande numero de parques eólicos (16)	- Grande número de questões fundiárias
- Possibilidade de instalação de grande número de aerogeradores (119)	- Afetação de um considerável número de comunidades
- Maior potencial de geração de energia (357,0 MW)	- Intervenções em muitos trechos viários
- Maior área disponível para locação dos equipamentos	- Intervenção em considerável numero de Áreas de Preservação Permanente (APP's)
- Variação das alternativas de acesso	- Alteração da paisagem mais regional
- Áreas com maior facilidade de implantação.	- Geração de divisas para dois municípios: Lagoa do Barro do Piauí e Queimada Nova
	- Maior numero de conflitos de uso do solo

A Figura 3.3 apresenta a layout da Alternativa Locacional 01 em uma imagem de satélite (Google Earth).

Figura 3.3 – Alternativa Locacional N^o. 01



3.1.2. Alternativa Locacional 02

Na Alternativa 02 considerou-se a implantação de 10 (dez) Parques Eólicos ocupando uma área 2.854,07 hectares com potencial de geração de 288,0 MW. A Figura 3.4 apresenta a layout da Alternativa Locacional 02 em uma imagem de satélite (Google Earth).

Aspectos Favoráveis	Aspectos Desfavoráveis
- Número de parques eólicos (10)	- Questões fundiárias
- Possibilidade de instalação de 96 aerogeradores	- Limitações para locação dos equipamentos e infraestrutura de apoio
- Potencial de geração de energia (288,0 MW)	- Maiores limitações às alternativas de acesso
- Área disponível para relocação dos equipamentos	- Necessidades de maiores alternativas tecnológicas de implantação dos parques eólicos
- Menor numero de comunidades afetadas	- Geração de divisas para um único município, Lagoa do Barro do Piauí
- Menor numero de interveniência em áreas de preservação permanente	
- Menor numero de intervenção em vias locais	
- Menor grau de alteração da paisagem	
- Menor numero de conflitos de uso do solo	

3.1.3. Alternativa Locacional 03

Na Alternativa 03 considerou-se a implantação de 10 (dez) Parques Eólicos ocupando uma área 3.494,44 hectares com potencial de geração de 255,0 MW. A Figura 3.5 apresenta a layout da Alternativa Locacional 03 em uma imagem de satélite (Google Earth).

Aspectos Favoráveis	Aspectos Desfavoráveis
- Número de parques eólicos (10)	- Geração de divisas para um único município, Lagoa do Barro do Piauí
- Possibilidade de instalação de 85 aerogeradores	- Maiores limitações às alternativas de acesso
- Potencial de geração de energia (255,0 MW)	- Necessidades de maiores alternativas tecnológicas de implantação dos parques eólicos
- Melhor aproveitamento do potencial eólico	
- Menor numero de comunidades afetadas	
- Menor numero de interveniência em áreas de preservação permanente	
- Menor numero de intervenção em vias locais	
- Menor grau de alteração da paisagem	
- Menor numero de conflitos de uso do solo	
- Menor número de questões fundiárias	
- Maior área para locação dos equipamentos e infraestrutura de apoio	

Considerando os aspectos mais relevantes (melhor aproveitamento do potencial eólico e as questões fundiárias, a alternativa locacional escolhida foi a de número 03.

Figura 3.4 – Alternativa Locacional N^o. 02

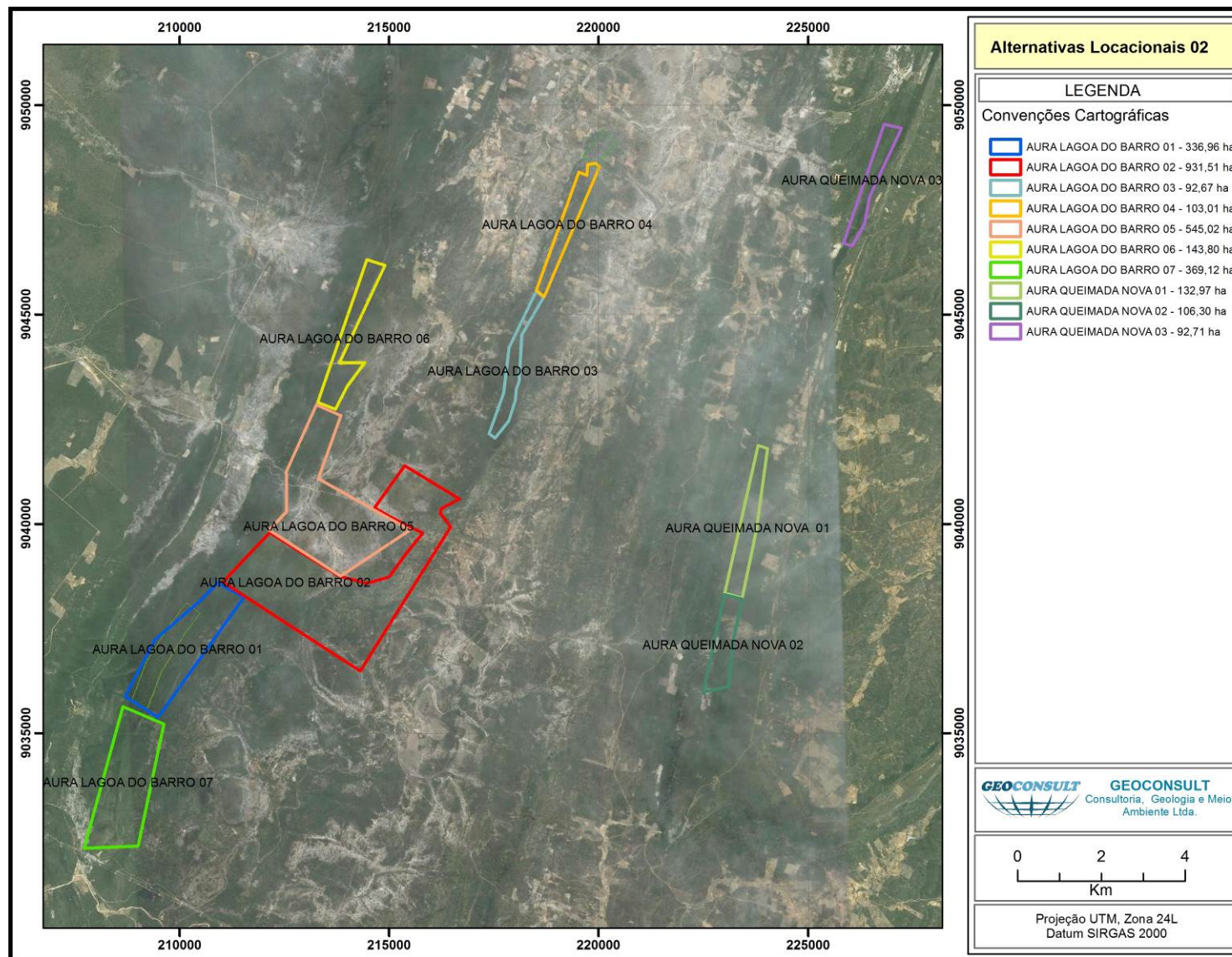
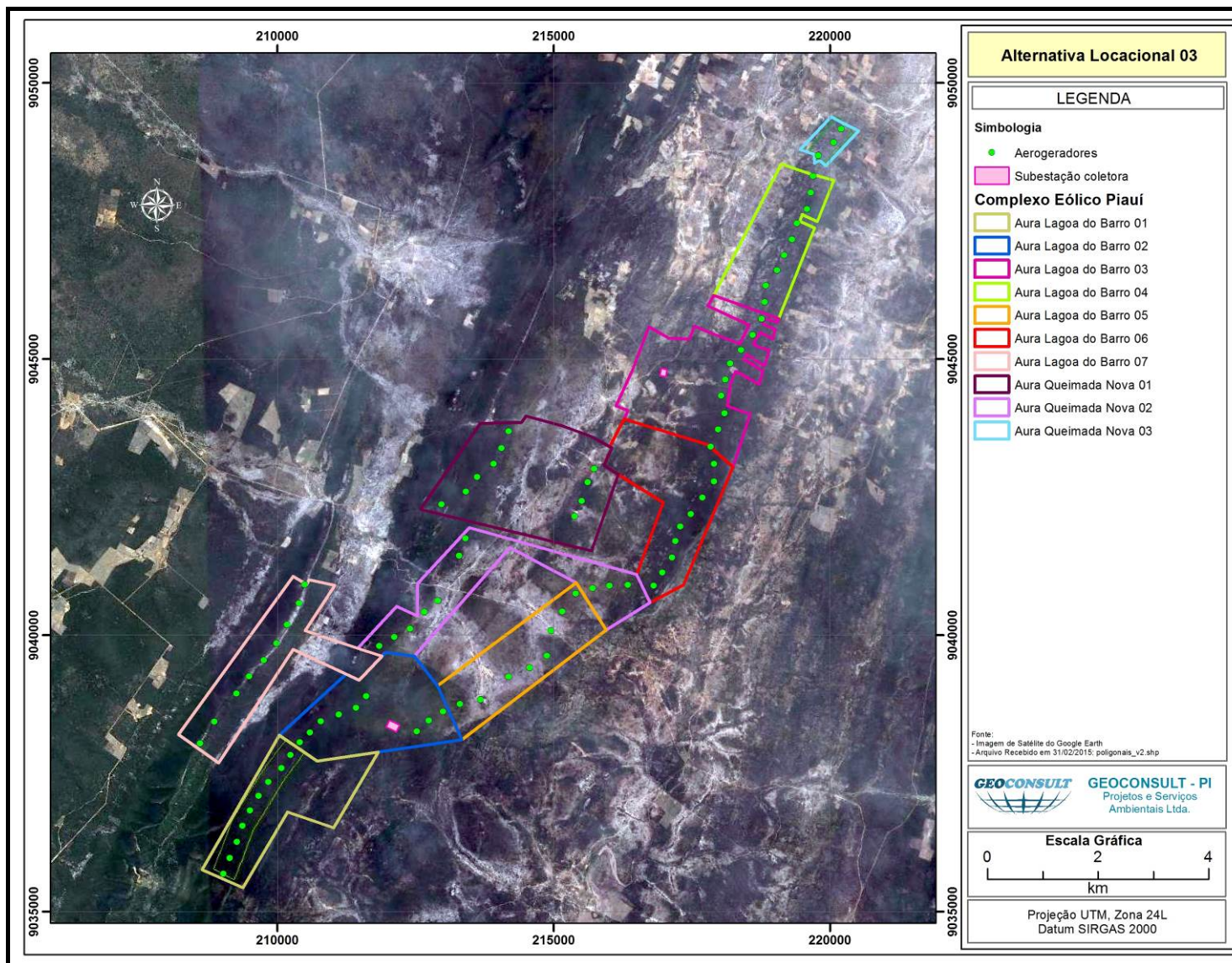


Figura 3.5 – Alternativa Locacional N^o. 03



O passo seguinte consistiu em analisar toda documentação legal do terreno (matrícula), verificar pendências, dívidas, hipotecas ou até mesmo se a área possuía alguma restrição que impedisse a construção do projeto. A disposição, forma, tamanho e áreas de restrição ambiental do terreno são cruciais para a estimativa de quantas turbinas podem ser alocadas no terreno.

Nos casos onde havia condições legais e técnicas e o rendimento estimado interessante tanto para o investidor quanto para o proprietário da área, foi celebrado um contrato de concessão de uso (arrendamento) entre ambos. Diante de uma seleção entre outras áreas disponíveis no estado do Piauí e estados adjacentes, a área do empreendimento atende satisfatoriamente todos os requisitos do processo seletivo, destacando-se que neste processo foi decisiva a disponibilidade de imóveis com boas condições eólicas e em situação legal e ambiental favorável ao desenvolvimento do empreendimento.

3.2. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

As fontes de energia não renováveis como petróleo, carvão mineral e gás natural, além de poluidoras possuem reservas limitadas. Desta forma, a humanidade tem procurado desenvolver novas tecnologias para aproveitar os recursos renováveis, abundantes e não poluentes como fontes alternativas de energia.

As principais fontes de energia renováveis são:

- Energia solar (térmica e fotovoltaica).
- Biomassa (álcool, lenha, carvão vegetal, óleos vegetais e biogás).
- Hidroeletricidade.
- Energia eólica.
- Energia das marés.
- Energia geotérmica.
- Energia das ondas.

O Quadro 3.1 apresenta dados comparativos das energias alternativas que, não deixa dúvidas sobre a vantagem econômica da energia eólica em relação a solar, seja do tipo térmica ou fotovoltaica.

Quadro 3.1 – Comparação das Energias Alternativas

	Solar Térmica	Fotovoltaica	Eólica	Biomassa
Estado da Tecnologia	Muito poucas comerciais e em desenvolvimento	Poucas comerciais e em desenvolvimento	Muitas comerciais e algumas em desenvolvimento	Muitas comerciais e em desenvolvimento
Potência (MW)	30 – 100 (calhas) 10 – 200 (torre) 1 – 10 (disco)	0,001 – 0,05 (resid.) 0,1 – 1 (plantas)	800 – 3000 kW	Até 100
Eficiência (%)	15 – 17	9 – 12	30 – 45	15 – 30 / 35 – 50
Investimento inicial	Alto	Muito alto	Médio	Médio baixo
Gasto de energia na construção	Médio	Alto	Médio baixo	Baixo
Gasto de energia na operação	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Médio
Horas de operação a plena carga por ano (h)	1500 – 2000 (calha) 2300 – 2800 (torre) 1300 – 1600 (disco)	800 – 1900	2600 – 4000	4000 – 7000

Fonte GEOCONSULT-PI, 2015

Em 2014 a geração de energia eólica se destacou entre as citadas no Quadro 3.1, com a adição de 2.500 MW de capacidade no decorrer de 2014. Foram incorporadas ao sistema 170 novas usinas, o que elevou para 1.234 o número de usinas eólicas em operação no País no fechamento do ano.

A capacidade das usinas eólicas era de 4.945 MW em dezembro, o que coloca essa fonte como a quarta mais importante do País, superando a geração a partir de óleo e biocombustíveis (4.885 MW). Os líderes são as fontes hidráulica (90.114 MW), gás (10.299 MW) e biomassa (9.994 MW),

Com uma vegetação pouco adensada e sem rios perenes na maior parte do seu território, além da ausência de gradientes térmicos ou geotérmicos, o estado do Piauí apresenta, prioritariamente, duas opções em matéria de energia renovável: Energia Solar e Energia Eólica.

A energia produzida no estado do Piauí provém de termelétricas, usinas eólicas e da Usina Hidro Elétrica de Boa Esperança, no município de Guadalupe. A energia que mantém as atividades produtivas no estado é a energia hidrelétrica, de forma que num período de crise energética, o sistema de distribuição de energia local fica comprometido em qualidade e quantidade, o que pode gerar desestabilização dos setores produtivos e perda de qualidade de vida para a população.

Considerando-se a constante instabilidade da energia hidroelétrica, se torna indispensável o investimento em fontes alternativas de energia, através da exploração das potencialidades naturais da região, destacando-se as fontes eólica e solar.

A energia eólica tecnicamente pode ser instalada em qualquer região onde existam ventos abundantes, podendo economizar a construção de linhas de transmissão de energia elétrica para eletrificar regiões de difícil acesso.

Durante as últimas décadas a utilização de energia eólica para produção de eletricidade vem sendo testada e aprovada em vários países, merecendo relevância os Estados Unidos, Alemanha, Dinamarca, Holanda, Itália, Portugal, entre outros, sendo a Alemanha a maior exportadora de tecnologia de energia eólica do mundo.

O mercado mundial de energia eólica tem sofrido uma revolução tecnológica nos últimos 20 anos. Em 1985 as turbinas tinham em média 50 kW de potência nominal, atualmente já existem protótipos de 7,5 MW.

A evolução da aerodinâmica, eletrônica, mecânica de materiais e os softwares foram os grandes responsáveis por este desenvolvimento. Assim, o prognóstico inegável sobre a energia eólica é de que ocorram custos decrescentes para patamares competitivos com outras fontes, simplicidade e rapidez na instalação, modularidade que permite o acesso de um novo e amplo leque de investidores produtivos ao setor energético e, principalmente, sua limpeza ambiental, sem riscos econômicos para o futuro, e ao mesmo tempo capazes de carrear benefícios que poderão se estruturar no esforço mundial para a contenção do aquecimento global da atmosfera.

O acelerado crescimento do uso de energia eólica para a geração de eletricidade está firmemente fundamentado na sua aceitação pela sociedade como fonte ecologicamente favorável e nos altos níveis de confiabilidade e eficiência operacionais atingido pelos aerogeradores atuais, como também na redução do preço por kW dessas turbinas eólicas.

Vários tipos, formas, conceitos e tecnologias de turbinas eólicas foram desenvolvidos neste tempo. Em geral, os aerogeradores podem ser de eixo vertical ou horizontal, *upwind* (rotor de frente para o vento) ou *downwind* (rotor de costas para o vento), com uma, duas, três ou mais pás, controle *Stall* ou *Pitch* do ângulo de ataque das pás em relação ao vento resultante, se possuem caixas multiplicadoras, inversores de frequência, entre outros. Os modelos mais comercializados têm três pás, eixo horizontal e são do tipo *upwind*. Outros tipos são de opção de desenvolvimento tecnológico do fabricante.

Existem no mercado diversos fabricantes de aerogeradores, como por exemplo: Suzlon, Vestas, GE, Siemens, Enercon, Impsa e Gamesa, com turbinas cujas potências variam de 1,5 MW a 3,0 MW, existindo ainda protótipos de 5,0 MW a 8,0 MW.

Quanto maior a altura da torre a da potência do aerogerador, maior o aproveitamento eólico e menor o número de máquinas necessário para se atingir a geração de energia (GWh/ano) desejada.

Em termos de potencial, a possibilidade de produção de energia eólica no Brasil é quase infinita, temos potências eólicas de altíssima qualidade no Nordeste e Sul do país, e, mais recentemente, os estudos eólicos têm apresentado potenciais em São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo e outros estados que estiveram fora da rota da energia dos ventos no passado. Com essa velocidade de crescimento, em breve, o país vai estar entre os líderes mundiais na produção e no investimento em energia eólica.

O Brasil encerrou o ano de 2014 na 11ª posição entre os países com maior capacidade instalada no mundo, de acordo com dados do Conselho Global de Energia Eólica (GWEC, na sigla em inglês), pouco à frente de Portugal e Dinamarca. Quando observada a expansão anual, o país registrou a 4ª colocação entre os que mais colocaram megawatts eólicos em operação, com 2.764, atrás apenas de China, Alemanha e Estados Unidos¹.

A geração das usinas eólicas brasileiras em dezembro de 2014 alcançou 1.908 MW médios, número 143,3% maior que no mesmo período do ano anterior, sendo que 62% desse montante foram produzidos por usinas viabilizadas em leilões de energia (1.166 MW médios), equivalentes a 3.077 MW em capacidade instalada. Outros 333 MW médios, ou 904 MW em capacidade, estão associados a empreendimentos que comercializaram no mercado livre de energia, enquanto 409 MW médios, ou 965 MW em capacidade, são de usinas construídas no âmbito do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa). A geração total em 2014, por sua vez, registrou um crescimento de 84,1% em relação a 2013².

Tendo como base o mapeamento eólico realizado, foram feitas simulações das perdas por interferência aerodinâmica entre turbinas no programa AeroPARK (Camargo Schubert), o qual incorpora o mesmo modelo de interferência aerodinâmica entre rotores de turbinas do programa WAsP/PARK. A partir destas simulações, optou-se pelos modelos de turbinas e layout que maximizaram a produção de energia em relação ao valor do investimento, buscando-se sempre a viabilidade financeira do empreendimento.

Na seleção das turbinas eólicas no projeto do Complexo Eólico Piauí se considerou os seguintes aspectos:

1. disponibilidade de turbinas no período da construção do complexo eólico;
2. atendimento ao índice de nacionalização definido pelo Governo Federal;
3. relação da energia gerada calculada (GWh/ano) / valor das turbinas (R\$/MW);
4. garantia das turbinas eólicas pelo fabricante;

¹ Fonte: http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/noticias-opiniao/noticias/noticia-leitura?contentid=CCEE_347332&_afLoop=98406834883500#%40%3Fcontentid%3DCCEE_347332%26_afLoop%3D98406834883500%26_adf.ctrl-state%3Dg3wl072ng_54, acesso em 05/03/2015.

² Fonte: idem

5. custos de operação e manutenção;

6. minimização dos impactos sobre o terreno, buscando-se para isso a utilização de um menor número de máquinas.

As alternativas tecnológicas estavam associadas às alternativas locais, de modo que foram consideradas três opções, sumarizadas no Quadro 3.2. Todas as opções consideravam a utilização de aerogeradores modelo AW3000, com 125m de rotor, 3MW de potência unitária e altura do cubo de 120m, do fabricante Acciona.

Quadro 3.2 – Alternativas Tecnológicas

Parâmetros	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03
Área (ha)	33.170,56	2.854,07	2.664,53
Número de parques (un.)	16	10	10
Número de aerogeradores (un.)	119	96	85
Potencia instalada (MW)	357,0	288,0	255,0

Como investidor em geração de energia, a Alternativa 01 representa a mais atrativa, contudo a evolução dos estudos dos ventos regionais impôs uma readequação dos parques eólicos, contemplando um maior aproveitamento do potencial eólico local.

Considerando-se ainda as questões fundiárias, a alternativa escolhida foi a numero 03. Mesmo sendo a de menor potencial de geração, se vê esta opção como a mais confortável sobre vários aspectos:

- menor número de questões fundiárias;
- menor grau de interveniência nas estradas de acesso local; e
- menor número de comunidades afetadas, indiretamente.

3.3. HIPÓTESE DE NÃO IMPLANTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Sem a implantação do empreendimento o prognóstico para a área de influência direta do projeto pode ser assim considerado:

- Os proprietários dos terrenos deixarão de agregar valor a suas propriedades e de ganhar rendimentos extras, em complementaridade as práticas silvo pastoris ora vigentes;
- Poderá ocorrer a continuidade dos processos de desenvolvimento da fauna e da flora até que uma nova forma de uso e ocupação surja;

- Sem o empreendimento a população da região perderá oportunidades de empregos, tanto diretos quanto indiretos e o município deixará de contar com uma nova fonte de arrecadação de impostos e tributos, além de uma importante oportunidade para o crescimento econômico;
- Deixarão de ser injetados na rede nacional 255,0 MW de energia, gerados de forma sustentável e com baixo impacto ambiental.