PLANEJAMENTO DA ELETRIFICAÇÃO RURAL EM LARGA ESCALA COM ENERGIA SOLAR E EÓLICA

ALISON GALDINO DE OLIVEIRA SILVA[1]
ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS[2]
CHIGUERU TIBA[1]

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
[1]Departamento de Energia Nuclear, Recife-PE
[2]Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife-PE
alisongaldino@hotmail.com; { analucia,tiba}@ufpe.br

RESUMO – O planejamento da eletrificação rural é uma preocupação do Governo Federal. Este trabalho mostra como os recursos das tecnologias da Geoinformação podem auxiliar no planejamento da eletrificação rural em larga escala com energia solar e eólica. Foi realizado o cruzamento dos PI's: IDH-M, Índice de Eletrificação Rural Municipal, Radiação Solar (mês de Outubro) e Incidência de Ventos. Com a metodologia empregada é possível perceber que a utilização de SIG facilita este planejamento. Como resultados obteve-se que os municípios de Carnaubeira da Penha, Manari, Santa Cruz e Santa Filomena, localizados no Estado de Pernambuco, são casos onde as fontes alternativas (solar e eólica) podem ser utilizadas como fontes alternativas de energia.

ABSTRACT – Rural electrification planning is one preoccupation of Federal Government. This paper shows how the Geoinformation Technology resource can helps in rural electrification planning in high scale with solar and eolica energy. IDH-M, Electrification Rural, Solar (October month) and wind Indices are layers merged to obtain the result. With the methodology applied here is possible to see that GIS facilitate the planning. The results present that Carnaubeira da Penha, Manari, Santa Cruz and Santa Filomena districts are places where solar and/or eolical can be used**.**

1 INTRODUÇÃO

Os projetos de eletrificação rural visam criar, entre outros, o suprimento de energia às populações isoladas, contribuindo expressivamente, para a busca do desenvolvimento sustentável em comunidades rurais. O acesso à energia elétrica é uma questão determinante no atendimento das necessidades básicas da população em razão da multiplicidade de subsídios gerados (alimentação, saúde, moradia, economia, etc.). Desde 1994, o governo federal por meio do Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM), hoje denominado Programa Luz Para Todos, promove a inserção de comunidades rurais localizadas distantes da rede elétrica convencional com sistemas fotovoltaicos, característicos da energia solar, renovável.

A energia renovável caracteriza-se por ser uma energia limpa e ecologicamente correta, podendo ser usada, substancialmente, como complemento da geração de energia elétrica.

Visando subsidiar o planejamento da eletrificação rural em larga escala baseado em energia solar e eólica, este trabalho apresenta uma metodologia para identificar as áreas potenciais para a inserção das energias renováveis no estado de Pernambuco, através da ferramenta SIG. Estas áreas são caracterizadas por apresentarem um índice baixo de desenvolvimento humano e de eletrificação rural, bem como bons potenciais de radiação solar e vento.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1 Índice de Desenvolvimento Humano

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é um indicador que mede o desenvolvimento social de países, estados ou municípios, contrapondo o Produto Interno Bruto (PIB) per capita, indicador que considera apenas a dimensão econômica do desenvolvimento.

Além dos critérios econômicos (PIB, renda per capita, etc.), são analisados outros critérios no IDH de caráter social, como as taxas de mortalidade e natalidade, a longevidade, a taxa de analfabetismo, entre outros. Um

maior detalhamento sobre o cálculo do IDH pode ser visto em PNUD (2008).

O IDH varia numa escala de 0 (nenhum desenvolvimento humano) a 1 (desenvolvimento humano total). Países com IDH até 0,499 têm desenvolvimento humano considerado baixo; os países com índices entre 0,500 e 0,799 são considerados de médio desenvolvimento humano; países com IDH maior que 0,800 têm desenvolvimento humano considerado alto. O Brasil atualmente está enquadrado no grupo de países com alto desenvolvimento humano (PNUD, 2008).

Para identificar os municípios pernambucanos de baixa eletrificação rural faz-se indispensável analisar o IDH dos municípios (IDH-M), uma vez que existe uma relação direta entre esses dois indicadores. A tabela 1 apresenta o IDH dos estados brasileiros para os anos de 1991 e 2000, proveniente dos censos do IBGE (referentes aos anos 1991 e 2000).

Tabela 1 – IDH-M dos Estados Brasileiros, 1991 a 2000. Fonte: PNUD (2008).

Estado	IDH-M (1991)	IDHM (2000)
Distrito Federal	0,799	0,844
Santa Catarina	0,748	0,822
São Paulo	0,778	0,820
Rio Grande do Sul	0,753	0,814
Rio de Janeiro	0,753	0,807
Paraná	0,711	0,787
Mato Grosso do Sul	0,716	0,778
Goiás	0,700	0,776
Mato Grosso	0,685	0,773
Minas Gerais	0,697	0,773
Espírito Santo	0,690	0,765
Amapá	0,691	0,753
Roraima	0,692	0,746
Rondônia	0,660	0,735
Pará	0,650	0,723
Amazonas	0,664	0,713
Tocantins	0,611	0,71
Pernambuco	**0,620**	**0,705**
Rio Grande do Norte	0,604	0,705
Ceará	0,593	0,700
Acre	0,624	0,697
Bahia	0,590	0,688
Sergipe	0,597	0,682
Paraíba	0,561	0,661
Piauí	0,566	0,656
Alagoas	0,548	0,649
Maranhão	0,543	0,636

A figura 1 mostra o índice de desenvolvimento humano nos municípios do Estado. Os valores mais altos de IDH estão em laranja mais escuro.

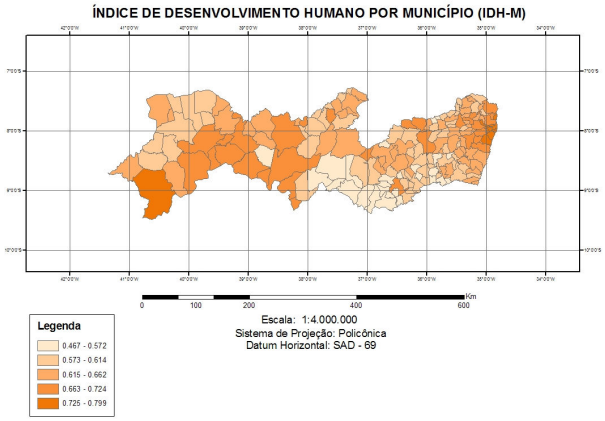


Figura 1 – IDH-M dos municípios de Pernambuco. Fonte: PNUD (2008).

2.2 A eletrificação rural e sua importância no desenvolvimento

Segundo Monteiro et al (2003), a eletrificação rural é um indutor de desenvolvimento socioeconômico, tanto nas propriedades e domicílios rurais como nos municípios, em razão da multiplicidade de benefícios que são gerados. Afirmam ainda que *"o atendimento a todas as localidades povoadas do território nacional com a energia elétrica representa um grande desafio. A chegada da energia elétrica em regiões de difícil acesso e de baixa renda permite às populações rurais o acesso às condições básicas para o exercício da cidadania, na busca pelo desenvolvimento sustentável"*.

O programa Luz Para Todos é a principal iniciativa de eletrificação rural do país, onde prevê a eletrificação rural em mais de 1 milhão de propriedades (Oliveira, 2001). A estimativa do Ministério de Minas e Energia para o ano de 2008 é de 10 milhões de pessoas beneficiadas no meio rural

A figura 2 mostra o percentual de pessoas que vivem em domicílios com energia elétrica no Estado de Pernambuco (PNUD, 2008). Os valores mais altos com Percentual de pessoas que vivem em domicílios com energia elétrica no Estado de Pernambuco estão em marron mais escuro. Nota-se uma carência maior nas regiões do Agreste e Sertão.

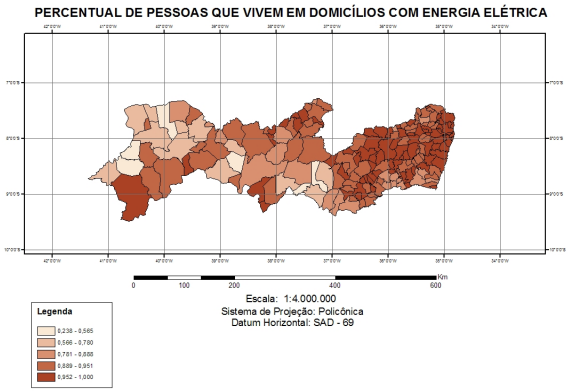


Figura 2 – Percentual de pessoas que vivem em domicílios com energia elétrica no Estado de Pernambuco. Fonte: PNUD (2008).

2.3 Energia solar e eólica

A energia solar caracteriza-se por ser uma energia limpa, renovável e abundante. Atualmente, no Brasil, este tipo de energia está sendo amplamente pesquisada e vem sendo utilizada como fonte energética para localidades isoladas (conversão fotovoltaica).

A energia eólica é a energia cinética do ar em movimento (ventos) que pode ser aproveitada pelo homem para trabalho útil (Tolmasquim, 2003). A utilização desta fonte energética para a produção de eletricidade teve início no final do século XIX, entretanto, para fins comerciais, o seu uso tem pouco mais de trinta anos. Por se tratar de uma geração livre de emissões e de custos progressivamente baixos, cada vez mais países em todo o mundo apóiam a energia eólica e encontram nela um importante complemento de geração de energia elétrica.

2.4 Sistemas de geoinformação aplicados a fontes alternativas em energia

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é uma poderosa ferramenta para coletar, armazenar, recuperar, transformar e indicar dados espaciais do mundo real para uma determinada finalidade (Burrough, 1998).

Do ponto de vista da tecnologia, desenvolver um SIG significa oferecer o conjunto mais amplo possível de estruturas de dados espaciais e algoritmos (visualização, seleção, busca de informações, análise estatística e geográfica, etc.) capazes de representar a diversidade de concepções do espaço. Esta capacidade distingue os SIG dos demais Sistemas de Informação, tornando-os úteis para organizações no processo de entendimento da ocorrência de eventos, predição e simulação de situações e planejamento de estratégias.

Atualmente, pesquisas vêm sendo desenvolvidas para aplicação de um Sistema de Informação Geográfica para fontes alternativas de energia. Amador e Dominguez (2005), por exemplo, fizeram na Espanha uma aplicação de Sistema de Informação Geográfica para eletrificação rural a partir de fontes alternativas de energia, utilizando a energia solar e eólica.

Rocha et al (2001) também fizeram uma aplicação de Sistema de Informação Geográfica para o mapeamento de alternativas energéticas para a Ilha do Marajó - PA. Eles utilizaram a biomassa e desenvolveram uma modelagem espacial para a parte rural da Ilha.

Tiba et al. (2007a) desenvolveram um SIG, denotado SIGA-SOL, para aplicações em energia solar e planejamento fotovoltaico dos Estados de Alagoas, Paraíba e Pernambuco.

Neste trabalho utilizou-se a ferramenta SIG para realizar a álgebra de mapas, definindo quais os municípios com baixo índice de eletrificação rural e quais as fontes de mais viáveis para inserção. Uma visão geral deste trabalho encontra-se em Tiba et al (2007b).

2.4.1 Cruzamento de Planos de Informação

A álgebra de mapas (cruzamento dos Planos de Informação) pode auxiliar bastante para tomada de decisões, sendo esta uma ferramenta muito utilizada em Geoprocessamento.

Segundo Barbosa et al. (1998), a álgebra de mapas compõe uma linguagem especializada para realizar operações que tem tanto um sentido matemático quanto cartográfico e espacial.

Para melhor entender esta ferramenta, há um exemplo na figura 3, onde mostra um mapa de culturas plantadas e um mapa de solos de uma determinada região. Há dois tipos de cultura: C1 e C2, e três tipos de solos: TS1, TS2 e TS3. O que se deseja saber é quais são as áreas de alto, médio e baixo potencial para plantação destas culturas (o tipo de solo definirá quais são estas áreas). Para isso, deve-se realizar o somatório destes mapas e o resultado mostrará as áreas mais propícias para os dois tipos de cultura.

Neste exemplo, enumerou-se C1 e C2 como 50 e 60, respectivamente. Enumerou-se TS1 (alto), TS2 (médio) e TS3 (baixo) como 1, 2 e 3, respectivamente.

Os resultados foram: 51, 52 e 53; 61, 62 e 63. Onde deve-se interpretar estes resultados como:

- **51** → Área de alto potencial para cultivo de C1;
- **52** →Área de médio potencial para cultivo de C1;
- **53** →Área de baixo potencial para cultivo de C1;
- **61** → Área de alto potencial para cultivo de C2;
- **62** → Área de médio potencial para cultivo de C2;
- **63** → Área de baixo potencial para cultivo de C2.

No caso deste trabalho, foi realizado o cruzamento dos PI's: IDH-M, Índice de Eletrificação Rural Municipal, Radiação Solar (mês de Outubro) e Incidência de Ventos.

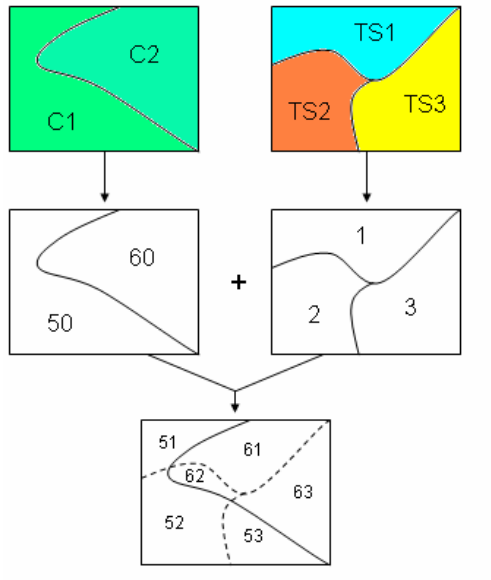


Figura 3 – Exemplo de um cruzamento de PI's.

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 Material

- Mapa dos municípos de Pernambuco – IBGE;
- Mapa de ventos médios em Pernambuco – Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL);
- Dados solarimétricos do Atlas Solarimétrico do Brasil.

Softwares utilizados:

- ArcGIS 9.1;
- Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil - PNUD;
- Atlas Solarimétrico do Brasil;
- SPRING 4.3.

3.2 Método

A metodologia consiste em realizar o mapeamento das áreas mais carentes de eletrificação em Pernambuco e defrontar estes dados com as fontes alternativas de energia existentes.

Para identificar os municípios com potencialidade de inserção a partir de fontes alternativas de energia foram feitos os seguintes procedimentos:

1. Exportação dos dados em *Shapefile* do banco de dados ATLAS-BR do SPRING (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE), projeção policônica e Sistema Geodésico de Referência SAD-69;
2. Geração dos arquivos vetoriais de incidência de radiação solar do Brasil (Atlas Solarimétrico do Brasil);
3. Geração de arquivo vetorial de incidência de ventos (CEPEL);
4. Compatibilização das tabelas utilizando como identificador único o GEOCODIGO do IBGE para os municípios;
5. União das tabelas a partir de *JOIN* entre IDH-M e Eletrificação Rural (censo 2000 – IBGE);
6. Cruzamento dos Planos de Informações (PI´s) IDH-M, intervalo de 0-1, e de eletrificação rural, também no mesmo intervalo;
7. Cruzamento dos planos de incidência de radiação solar no mês de outubro e incidência de ventos; Mapeamento das áreas com potencialidade de receber fontes alternativas de energia.

A Figura 4 mostra o fluxograma da metodologia utilizada no trabalho.

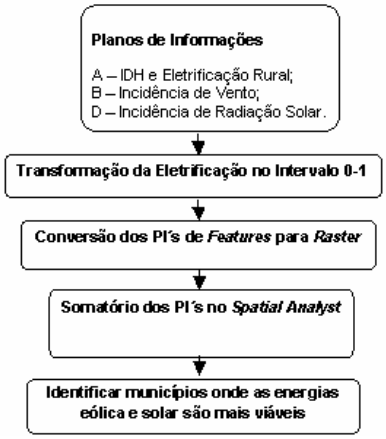


Figura 4 – Diagrama de blocos da metodologia utilizada no trabalho.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 5 mostra o mapa da incidência da radiação solar (MJ/m²) para o mês de outubro no Estado de Pernambuco, na escala 1:4.000.000. O mês de outubro foi utilizado porque é o mês de maior incidência da radiação solar.

A figura 6 mostra a incidência de ventos (CEPEL, 2007).

Para a escolha dos municípios que seriam beneficiados com as fontes alternativas realizou-se uma pesquisa por atributos entre o IDH-M e o índice de Eletrificação. Pesquisou-se municípios com IDH-M menor que 0,6 e Eletrificação menor que 0,677 (Figura 7). Os municípios de Carnaubeira da Penha, Manari, Santa Cruz e Santa Filomena foram os que se enquadraram nesta pesquisa por atributos.

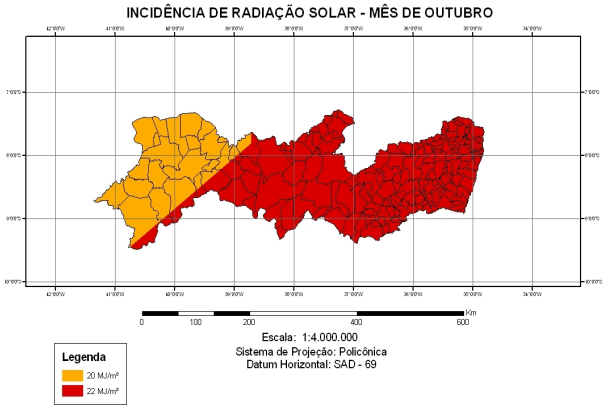


Figura 5 – Incidência da Radiação Solar para o mês de outubro. Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil (2000).

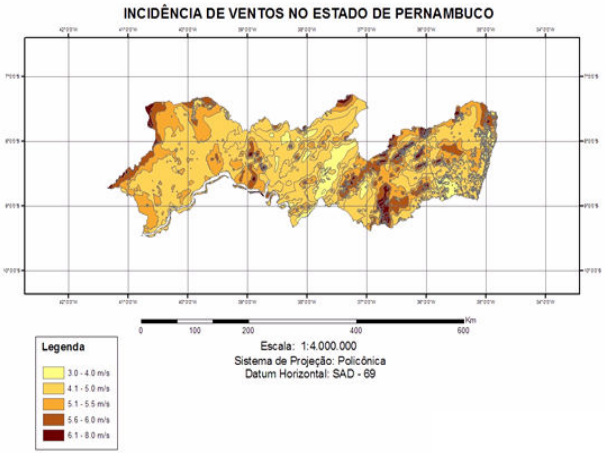


Figura 6 – Incidência de ventos. Fonte: CEPEL (2007).

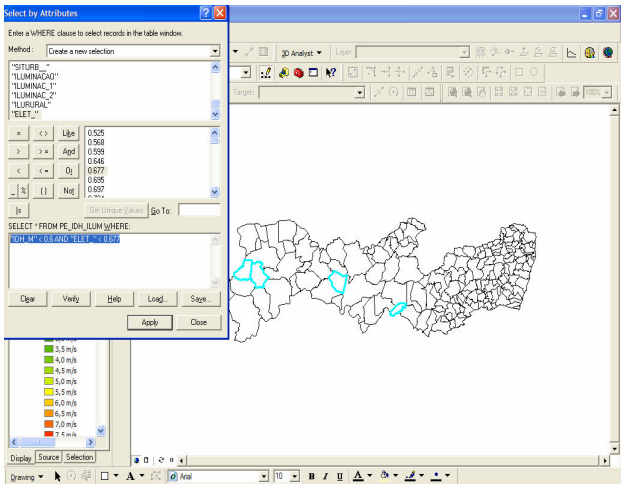


Figura 7 – Municípios com IDH menor que 0,6 e Eletrificação menor que 0,677.

Para realizar o somatório dos PI´s, criou-se um campo (INDEX), sendo este campo um número. Escolheram-se valores para cada plano de informação. A radiação solar possui um número correspondente à energia incidida; o número 100 corresponde à energia incidida de 20 MJ/m² e o número 200 corresponde a energia incidida de 22 MJ/m² - figura 8.

A incidência de ventos no Estado varia de 3 m/s a 8 m/s. Com isso, fez-se uma classificação em baixa (de 3,0 a 5,0 m/s), média (de 5,1 a 6,0 m/s) e alta (de 6,1 a 8,0 m/s), onde no campo INDEX ficou registrado com as seguintes numerações: 02, 03 e 04, respectivamente (figura 9).

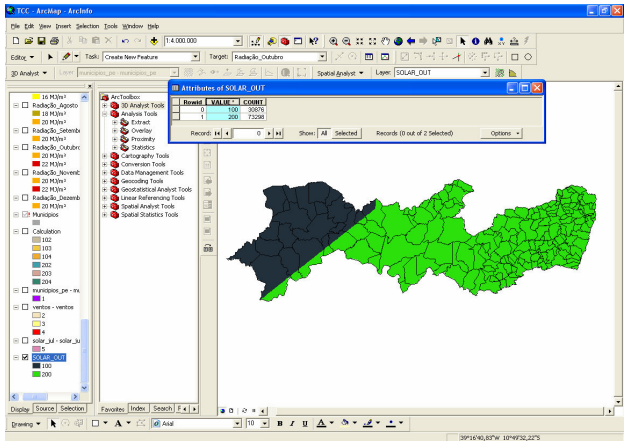


Figura 8 – Incidência da Radiação Solar no mês de outubro (em formato GRID).

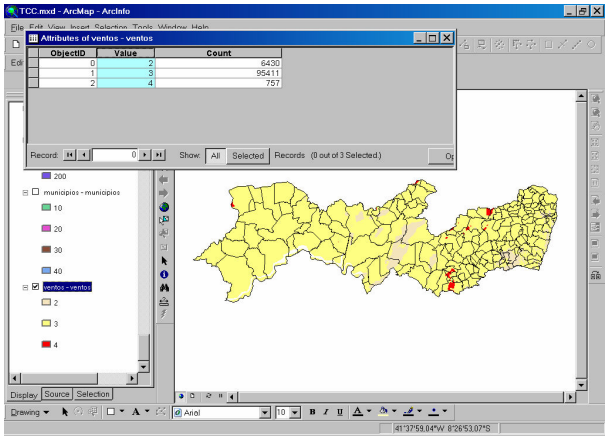
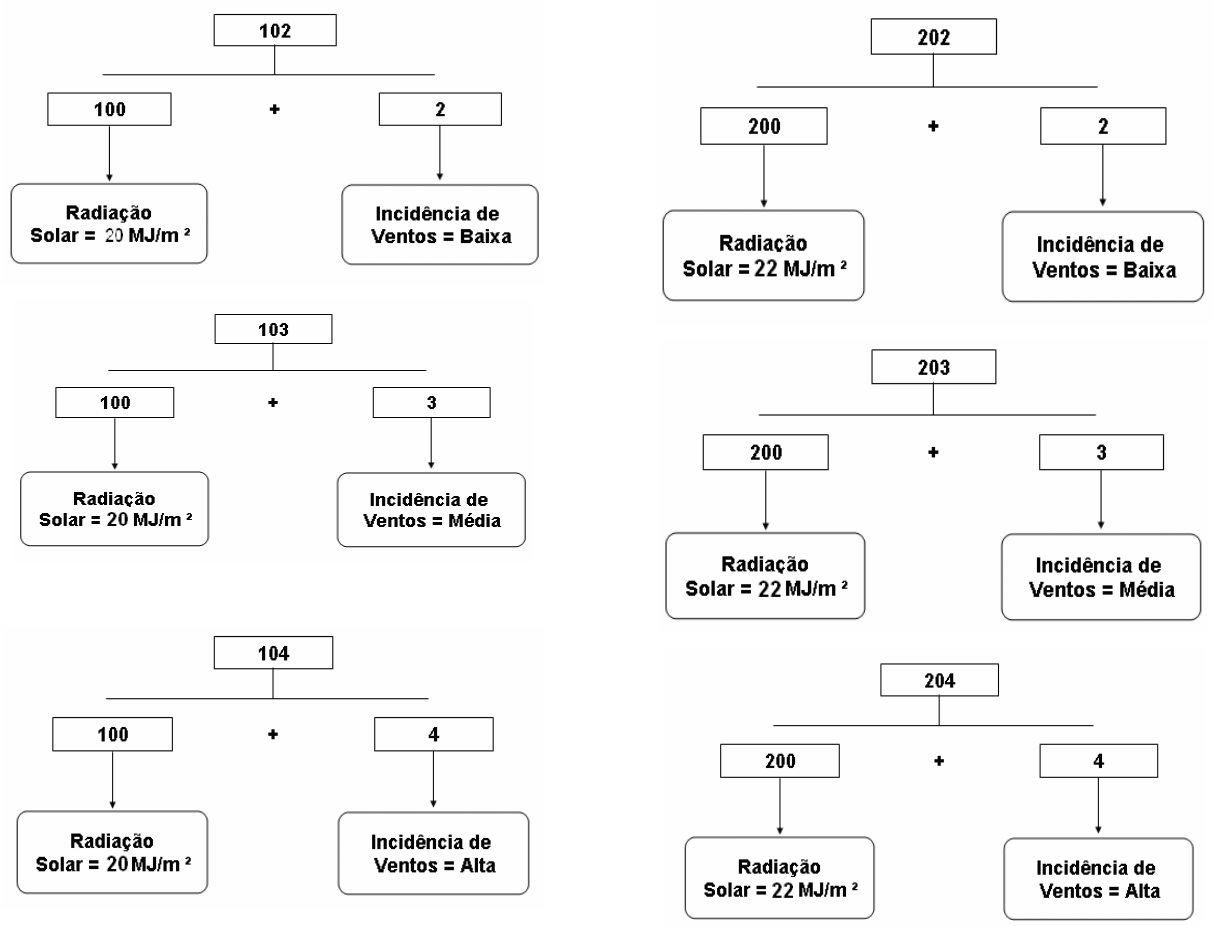


Figura 9 – Incidência de ventos (em formato GRID).

Os resultados do somatório foram: 102, 103, 104, 202, 203, 204, onde:



A figura 9 mostra o mapa com o resultado do cruzamento dos PI´s e a localização espacial dos municípios.

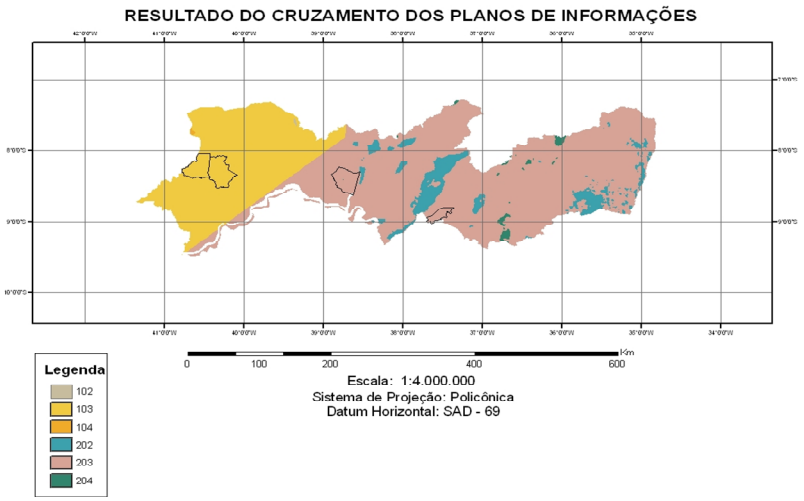


Figura 9 – Resultado do cruzamento dos Planos de Informações.

4 CONCLUSÕES

A metodologia empregada neste trabalho mostrou-se que a utilização de SIG para inserção de fontes alternativas é um facilitador no planejamento da inserção em larga escala da energia solar e eólica em meio rural.

A modelagem utilizada permitiu observar que os municípios de Carnaubeira da Penha, Manari, Santa Cruz e Santa Filomena são casos onde as fontes alternativas (solar e eólica) podem ser empregadas com menor custo-benefício.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão da Bolsa de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amador, J.; Dominguez, J. **Application of geographical information systems to rural electrification with renewable energy sources**. Renewable Energy. Volume 30, Issue 12. October 2005. Pages: 1897-1912.

Barbosa, C.C.; Camara, G.; Medeiros, J.S.; Crepani, E.; Novo, E.; Cordeiro, J.P.C. **Operadores Zonais em Álgebra de Mapas e Sua Aplicação a Zoneamento Ecológico-Econômico**. Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, Brasil, 11-18 setembro 1998, INPE, p. 487-500.

Burrough, P.A.; McDonnell, R.A. **Principles of Geographical Information Systems. Spatial Information Systems and Geostatistics**. Oxford University Press. 1998.

Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE). <http://www.eolica.com.br>. Acessado em 2008.

Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL). < http://www.cepel.com.br>. Acessado em 2008.

Esquerdo, J.C.D.M; Nery, L.A.; Rocha, J.V.; Zullo Jr, J. **Uso de Sistemas de Informação Geográfica para o suporte à decisão: Um exemplo de aplicação**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2649-2655.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>. Acessado em 2008.

Monteiro, A.G.; Pereira, M.G.; Camacho, C.F.; Mendes, E.L. **Avaliação da Diversidade Regional do País para a Implantação do Programa de Eletrificação Rural "Luz no Campo"**. Relatório Técnico – Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL). 2003.

Oliveira, L.C. **Perspectiva para Eletrificação Rural no Novo Cenário Econômico-Institucional do Setor Elétrico Brasileiro**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro-RJ. 2001.

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. <http://www.pnud.org.br/atlas/PR/Press_Release_2.doc>. Acessado em 2008.

Rocha, B.R.P.; Silva, I.M.O.; Pinheiro, E.C.L.; Rocha, A.O.F.; Moraes, S.B.; Monteiro, C.; Lopes, J.P. **Mapeamento de Alternativas Energéticas na Ilha do Marajó**. In: encontro de energia no meio rural, 3., Campinas-SP. 2000.

Tiba, C. ; Candeias, A L ; Barbosa, E. M. S. ; Fraidenraich, N. ; Bione Filho, J. ; Bezerra, Pedro . **Sistema de Informação Geográfica Aplicada à Energia Solar (Siga-Sol 1.0)**. 2007a.

Tiba, C. ; Candeias, A L ; Barbosa, E. M. S. ; Fraidenraich, N. ; Bezerra, Pedro ; Bione Filho, J. . **A Gis-Based Decision Support Tool For Renewable Energy Management And Planning In Semi-Arid Rural Environments Of Northeast Of Brazil: Part I General Description And Methodology**. In: Ises Solar World Congress 2007, 2007, Beijing. Proceedings Of Ises Solar World Congress 2007, 2007b.