

SIGA SOL 1.0 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA APLICADA À ENERGIA SOLAR

Chigueru Tiba - tiba@ufpe.br

Naum Fraidenraich - naumf@uol.com.br

Elieza Moura de Souza Barbosa – elimsb@hotmail.com

Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Energia Nuclear

Ana Lúcia Bezerra Candeias – analucia@ufpe.br

Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco

Pedro Bezerra de Carvalho Neto – pbezerra@chesf.gov.br

José Bione de Melo Filho – jbionef@chesf.gov.br

Companhia Hidro Elétrica do São Francisco –DTG- CHESF

Resumo. Este trabalho descreve o SIGA SOL 1.0 – Sistema de Informação Geográfica Aplicada à Energia Solar, um sistema de gestão e planejamento elaborado sobre uma plataforma GIS (Geographic Information System) e destinados a tomadores de decisão sejam eles administradores, planejadores ou consultores em energia renováveis. Foi concebido para lidar com a gestão e planejamento de sistemas solar fotovoltaico, biomassa e eólico em regiões rurais do Nordeste do Brasil. O protótipo da ferramenta GIS cobre uma área de 183.500 km² e é constituído por três blocos principais: gestão dos sistemas renováveis instalados, planejamento de inserção de novos sistemas renováveis e atualização dos bancos de dados. O SIGA-SOL 1.0 tem no total 80 camadas de informações que permitem realizar análises espaciais sobre a gestão e planejamento com fontes renováveis de energia a nível macro-espacial (estado) e local (município). A ferramenta para o planejamento da inserção de novos sistemas fotovoltaicos permite realizar as análises com as seguintes camadas de informações: irradiação solar diária no plano do coletor para o mês de mínima radiação solar, índices de não-eletrificação rural, índices de desenvolvimento humano e localização de poços de águas subterrâneas. Para cada município existe a possibilidade de dimensionamento simplificado dos seguintes sistemas FV: autônomo e interligado a rede e sistema de bombeamento de água. O sistema foi desenvolvido particularmente para sistemas FV como uma possível ferramenta de suporte para gestão e planejamento do Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (PRODEEM), um programa de inserção da energia solar fotovoltaica em larga escala, no meio rural, conduzido pelo Ministério de Minas e Energia do Brasil.

Palavras-chave: Sistema de Informação Geográfica, Planejamento e Gestão, Energia solar fotovoltaica, PRODEEM, Funcionalidades

1. INTRODUÇÃO

O SIG é uma ferramenta valiosa para a avaliação e desenvolvimento da utilização de recursos energéticos renováveis em regiões extensas por que é uma ferramenta especialmente adequada para analisar as variabilidades espaciais do recurso em si assim como também para resolver problemas de gestão e planejamento de programa de instalação de sistemas descentralizados, caracterizados por uma grande dispersão espacial. Ele pode ser visto como um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente em um ambiente de respostas a problemas. Um SIG agrupa, unifica e integra informações. Com isto torna tais informações disponíveis de forma mais acessíveis, e coloca as informações antigas em um novo contexto. Neste projeto, o SIG é utilizado como uma ferramenta que permite a integração e o processamento de informações oriundas de diversas fontes. A partir daí é possível utilizá-lo na elaboração de estratégias de implantação e gestão de programas de eletrificação rural supondo fontes renováveis de energia.

2. METODOLOGIA

O desenvolvimento da metodologia do SIGA-SOL incluiu diversas etapas que podem ser vistas esquematicamente na Fig. 1 onde é mostrado o fluxograma do desenvolvimento do módulo SIG PLANEJAMENTO. As grandes etapas do desenvolvimento do módulo de planejamento da inserção de energias renováveis podem ser vistas da esquerda para direita e representam:

- Coleção de dados brutos sobre recursos energéticos renováveis, infra-estruturais, sócios econômicos, demográficos, índices de não-eletrificação, aptidão para determinadas culturas, sistemas energéticos renováveis instalados, poços existentes, entre outros;
- Elaboração de um banco de dados geográficos padronizado, isto é, com dados uniformizados e referenciados;

- Elaboração de banco de dados com dimensionamento de sistemas FV energéticos e para bombeamento de água; estimativa de eletricidade gerada por bagaço de cana; estimativa de eletricidade gerada pelo vento e aptidão climática para culturas de biomassa;
- Criação de um sistema que permite cruzar informações segundo regras ditadas por restrições geográficas, técnicas, sociais ou administrativas. O cruzamento é uma filtragem geográfica que permite uma resposta de uma dada indagação do usuário e
- Finalmente é feito o estudo dos melhores locais para inserção de uma determinada tecnologia energética renovável conforme alguns critérios pré-estabelecidos pelo usuário.

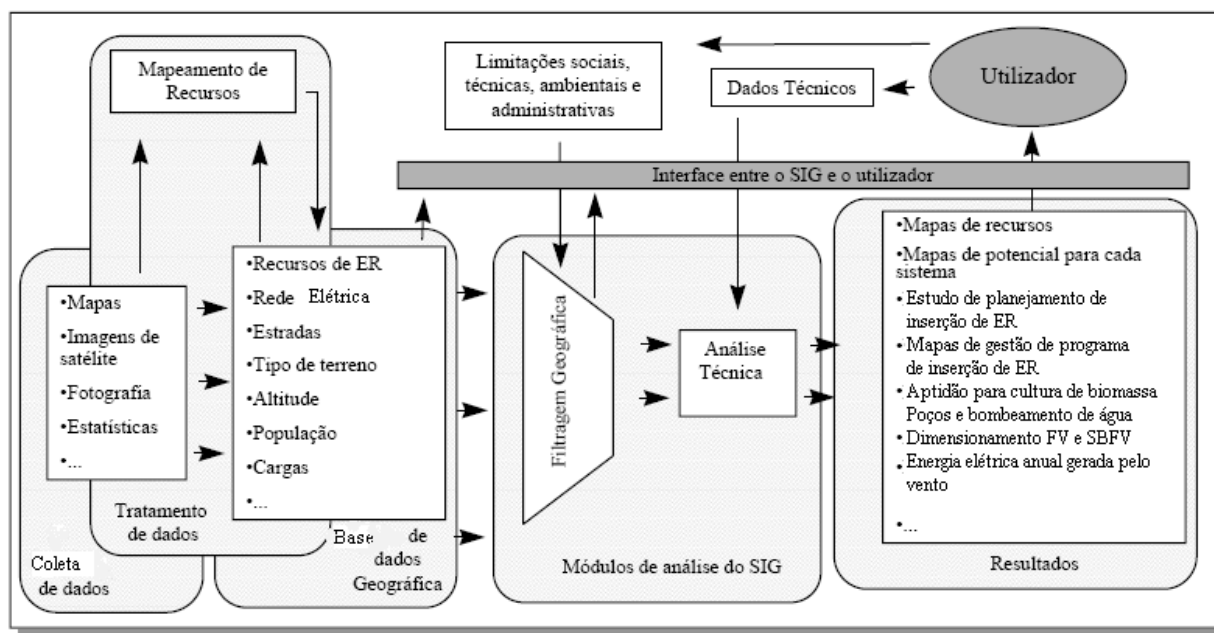


Figura 1 – Fluxograma do desenvolvimento do projeto

O módulo GESTÃO tem a mesma estrutura do módulo PLANEJAMENTO, porém, com diferentes bases de dados geográficos e dos resultados. O banco de dados geográficos nesse caso contém informações detalhadas sobre os sistemas FV instalados pelo PRODEEM Fases I a V e Emergencial cujos campos são definidos no Relatório Técnico de Revitalização de Sistemas Energéticos e Informações sobre a Disponibilidade de Recursos Energéticos. Os resultados permitem a identificação de tipos de equipamentos, tipos de benefícios, fase de instalação, mau funcionamento, distância do centro de manutenção mais próximo, entre outros.

3. DESCRIÇÃO DO SIGA SOL 1.0

3.1 Menu principal

O SIGA SOL 1.0 é constituído de três blocos principais: Gestão, Planejamento e Atualização do banco de dados, conforme pode ser visto na Fig. 2. A gestão e o planejamento ocorrem em dois níveis: macro-espacial (estadual) e local (municipal). A atualização do banco de dados pode ser feita com a retificação, exclusão ou inserção de informações ao banco de dados associado aos sistemas energéticos já instalados.

3.2 Funcionalidades

A utilização de uma ferramenta SIG requer a formulação de perguntas, cujas respostas são produtos de cruzamentos de um ou mais banco de dados e/ou mapas. O resultado normalmente não é completamente conclusivo (fechado) e o produto é um conjunto de informações espaciais e/ou relatórios que quase sempre ainda vai requerer a interpretação de quem fez a pergunta. O SIGA SOL 1.0 foi construído para dar ao usuário respostas às perguntas, de caráter geral e simples, que na maioria das vezes correspondem a uma camada de informações ou perguntas complexas cujas respostas são produtos de cruzamento de diversas camadas de informações. As respostas de perguntas de caráter geral e simples são denominadas de **funcionalidades prévias** ou default e estão gravadas como sub-menus nos menus de gestão e planejamento em nível macro-espacial e local. As funcionalidades não default geradas por perguntas

complexas de usuários podem ser impressas ou gravadas e poderão ser transformadas em funcionalidades prévias na próxima versão



Figura 2 – Menu principal do SIGA SOL 1.0

do SIGA-SOL 1.0. Outras funcionalidades prévias associadas às tarefas de atualização do banco de dados e dimensionamento simplificado de sistemas energéticos renováveis estão nos sub-menus do menu Atualização e Planejamento.

4. SIGA SOL – MÓDULO DE GESTÃO

As funcionalidades prévias do SIGA-SOL, gestão FV estão constituídas em três níveis: uma macro-espacial onde a unidade básica é o estado, outro local em nível de município e finalmente a possibilidade de atualização de dados de Tabelas, conforme pode ser visto na Fig. 3.



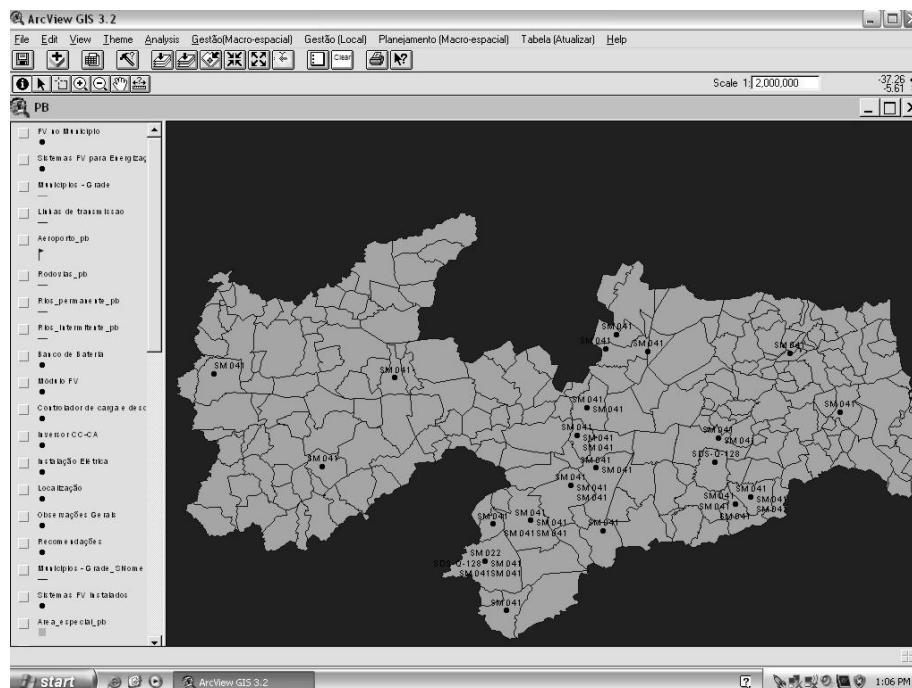
Figura 3 – Funcionalidades do SIGA SOL 1.0, Módulo Gestão

4.1 Funcionalidades da gestão macro-espacial

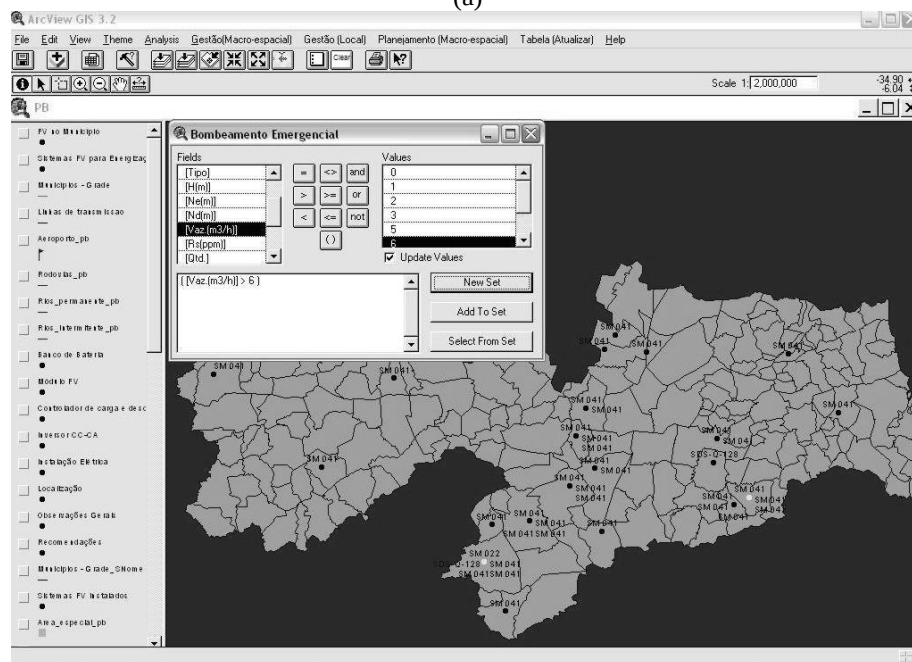
A gestão macro-espacial está constituída por 5 blocos distintos:

- Sistemas fotovoltaicos instalados e tipos de aplicações;
- Descrição do tipo, situação operacional, falha e modelo de todos os componentes dos sistemas fotovoltaicos instalados;
- Centro de manutenção e treinamento;
- Fase de instalação conforme PRODEEM e
- Infra-estrutura de linha de transmissão, estradas e aeroportos.

A Fig. 4 mostra os sistemas de bombeamento fotovoltaico (SBFV) instalados nos estados da Paraíba (a). Também mostra para cada tipo de aplicação a possibilidade de uma filtragem mais detalhada através de um menu onde podem ser escolhidos os benefícios e alguns aspectos específicos: em (b), os SBFV com vazão maiores que 6 m³/h instalados na Paraíba.



(a)



(b)

Figura 4 - Funcionalidades macro-espacial do SIGA-SOL, Gestão FV, em relação às aplicações de sistemas fotovoltaicos instalados e de aplicações

A Fig. 5 mostra as baterias instaladas em Pernambuco e adicionalmente mediante uma filtragem mais detalhada através de um menu os modelos específicos da marca PVX 12105.

A Fig. 6 discrimina os sistemas fotovoltaicos instalados na Paraíba mostrando a Fase V de instalação conforme o PRODEEM.

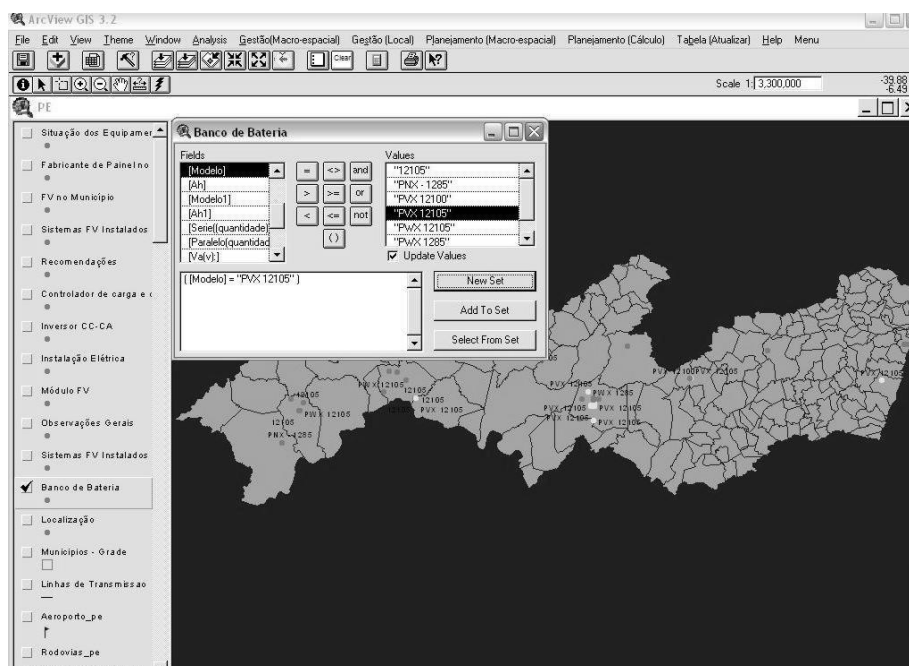


Figura 5 – Funcionalidades macro-espacial do SIGA-SOL, Gestão FV, em relação aos componentes dos sistemas fotovoltaicos instalados em Pernambuco

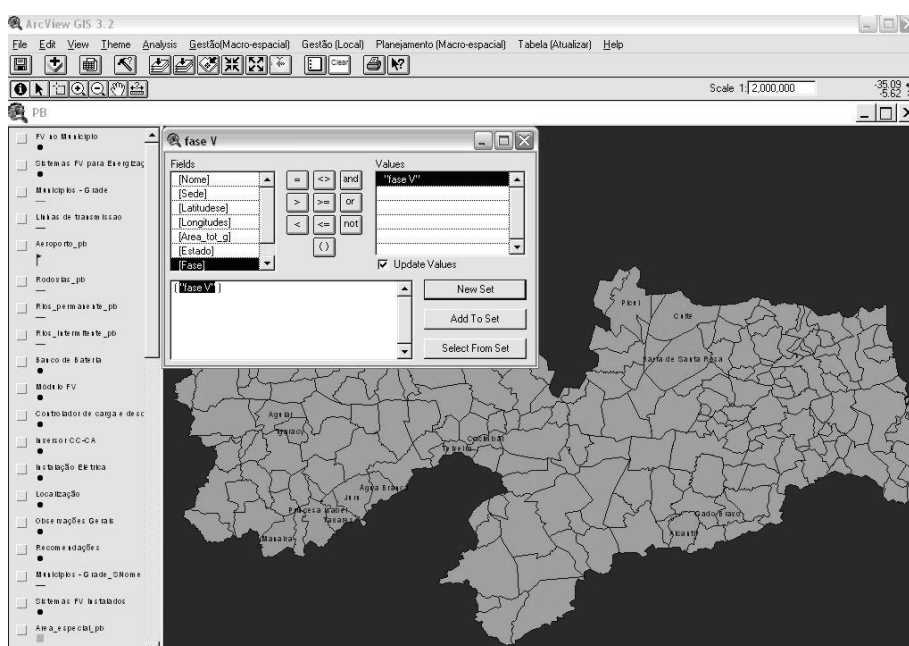
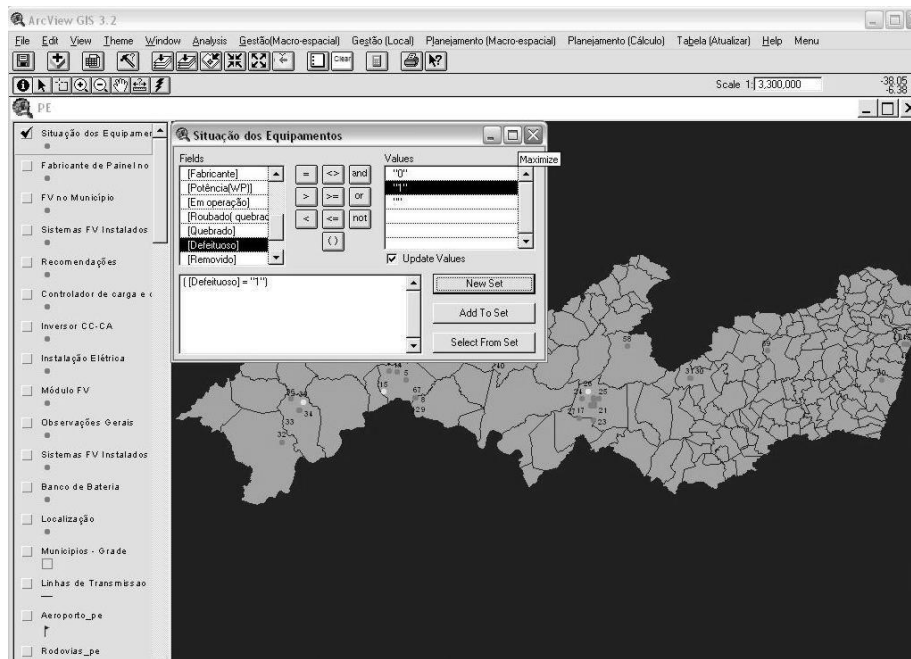
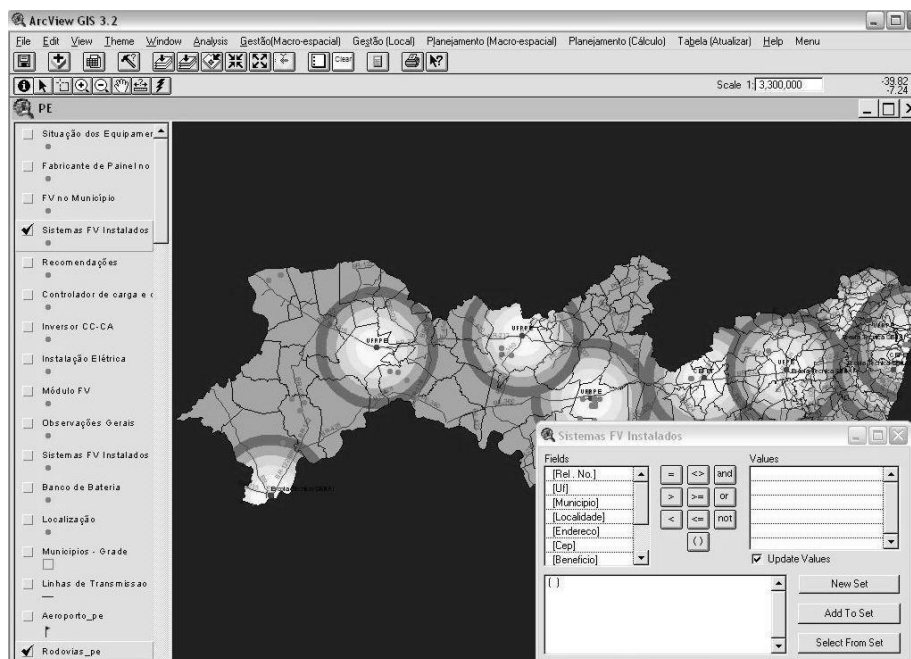


Figura 6 – Funcionalidades macro-espacial do SIGA-SOL, Gestão FV, em relação à Fase de instalação do PRODEEM

Finalmente, em nível de gestão macro espacial podem ser mostrados os estados operacionais dos componentes dos sistemas FV instalados e os possíveis centros de treinamento e manutenção nos estados de Alagoas, Pernambuco e Paraíba. Os municípios sede foram escolhidos pela existência de centros tradicionais de difusão de conhecimentos como Universidades, CEFET, Escolas Técnicas, Institutos agrícolas como EMBRAPA, IPA e EMATER e por localização visando uma distribuição espacial adequada. A Fig. 7 (a) mostra o estado operacional defeituoso dos componentes dos sistemas fotovoltaicos instalados em Pernambuco e em (b) os centros de manutenção mais próximos.



(a)



(b)

Figura 7 –Gestão FV, (a) situação operacional defeituoso dos componentes dos sistemas FV instalados em Pernambuco e (b) os centros de manutenção mais próximos

4.2 Funcionalidades da gestão local

A gestão local está conceituada em 4 blocos distintos:

- Sistemas fotovoltaicos instalados no município;
- Identificação de um determinado modelo e fabricante para cada componente;
- Identificação de um determinado modelo e fabricante de módulos fotovoltaicos;
- Situação operacional de todos os componentes dos sistemas fotovoltaicos instalados;
- Identificação do Centro de manutenção e treinamento mais próximo.

5. SIGA SOL - MÓDULO DE PLANEJAMENTO

O processo de planejamento da inserção de energias renováveis em áreas rurais normalmente é uma tarefa complexa por que exige uma abordagem com múltiplos critérios: recursos energéticos, indicadores sócio-econômicos, índices de não-eletrificação rural, entre outros. Se considerarmos adicionalmente a pretensão de estimular o desenvolvimento regional mediante a inserção de sistemas energéticos para fins produtivos, há que considerar a aptidão do solo para culturas diversas e a existência de recursos hídricos. O SIGA SOL Módulo de Planejamento foi construído considerando essas condicionantes e a possibilidade de analisar as combinações possíveis de critérios definidos pelo usuário para definição de locais para a implantação de novos sistemas renováveis de energia.

As funcionalidades do SIGA-SOL, Planejamento macro-espacial estão constituídas basicamente dos seguintes blocos:

- IDH e índice de não-eletrificação rural;
- Áreas de exclusão;
- Poços CPRM;
- Aptidão para cana de açúcar, quantidade de cana colhida e capacidade de geração de energia elétrica com bagaço de cana;
- Aptidão para mamona, época de plantio e Usinas de biodiesel;
- Florestas Energéticas;
- Direção e intensidade do vento, áreas promissoras e capacidade de geração de energia elétrica com vento e
- Irradiação solar mensal, no plano horizontal e irradiação solar no plano do coletor no mês de mínima irradiação.

O sub-menu IDH permite obter mapas como a filtragem de municípios com renda per capita estratificada (por exemplo, menores que US\$100), além de outros 8 indicadores sociais adicionais.. As áreas de exclusão são definidas como áreas indígenas, reservas ecológicas e áreas de preservação especial. São consideradas de exclusão quando se quer localizar sistemas energéticos convencionais ou sistemas energéticos renováveis de grande porte. No caso de localização de sistemas renováveis de pequeno porte tais áreas devem ser consideradas de prioridade máxima.

A Fig. 9 mostra todos os poços subterrâneos cadastrados pela CPRM no estado de Pernambuco. Uma filtragem mais detalhada possibilita escolher subconjuntos de poços por finalidade e profundidade, entre outros. Em branco, por exemplo, poços com profundidades maiores que 30 m.

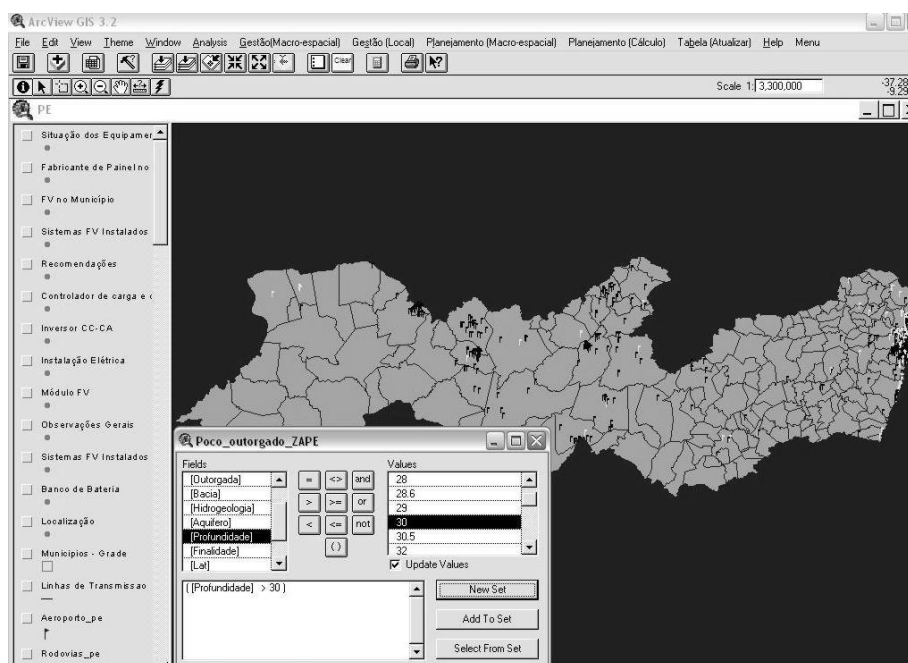


Figura 9 – Funcionalidade do SIGA-SOL, Macro-Planejamento FV, localização de todos os poços com profundidades maiores que 30 m no estado de Pernambuco.

A Fig. 10 mostra a aptidão para cultura de cana de açúcar para o período chuvoso. A Fig.11 mostra a velocidade do vento, média anual. Finalmente, a Fig. 12 mostra a irradiação solar no plano horizontal para o mês de novembro onde ocorre o máximo para o estado de Pernambuco.

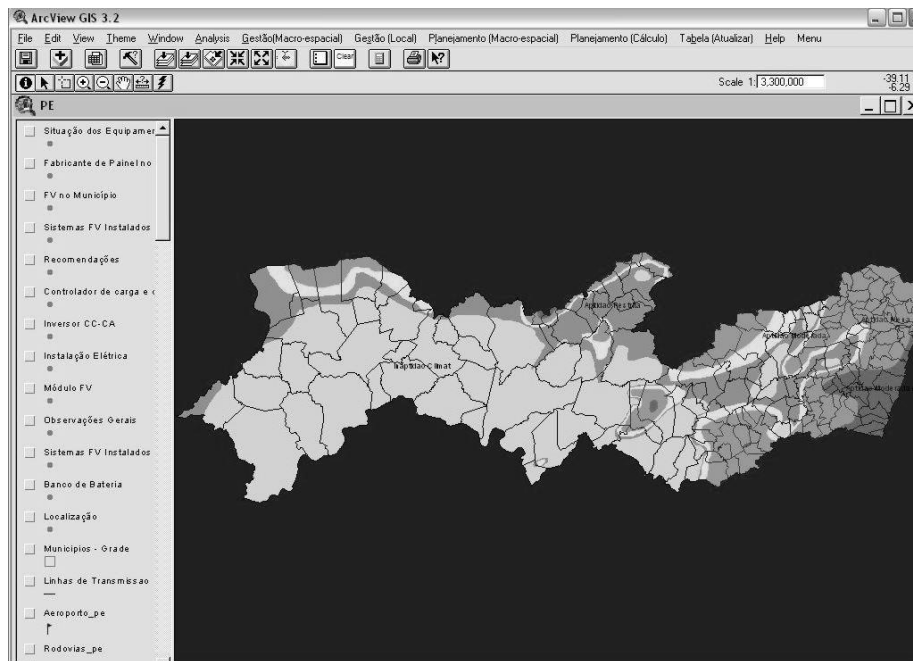


Figura 10 – Funcionalidade do SIGA-SOL, Macro-Planejamento FV, aptidão para a cultura da cana de açúcar para o estado de Pernambuco no período chuvoso

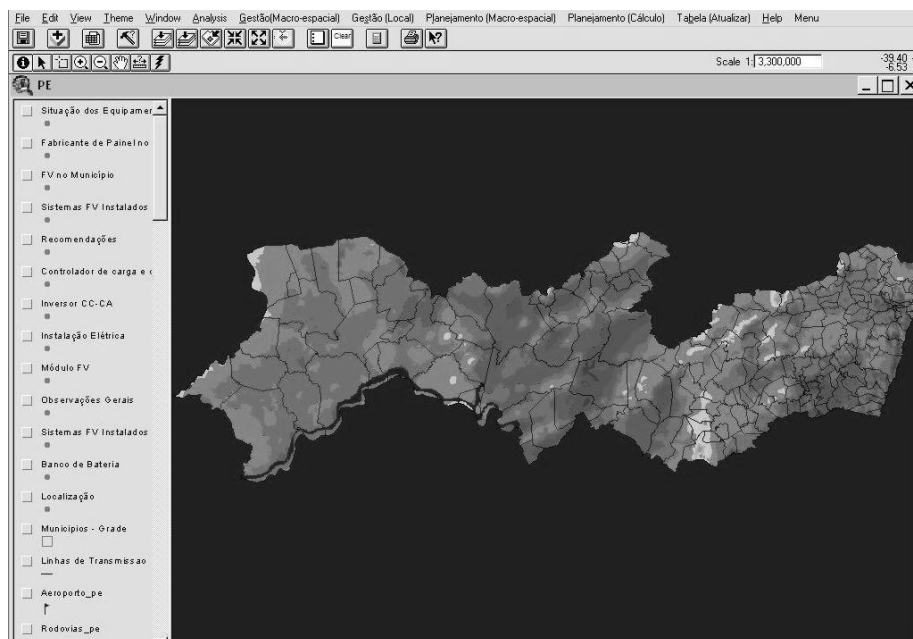


Figura 11 – Funcionalidade do SIGA-SOL, Macro-Planejamento FV, velocidade do vento, média anual

6. SIGA SOL - CÁLCULO

No processo do planejamento de inserção de sistemas energéticos renováveis, após a definição mediante uma abordagem com múltiplos critérios (recursos energéticos, indicadores sócio-econômicos, índices de não-eletrificação rural, entre outros) das localidades a serem beneficiadas, é necessário um dimensionamento dos sistemas energéticos. O SIGA SOL permite realizar os dimensionamentos ou cálculos simplificados dos seguintes sistemas:

- sistema fotovoltaico autônomo;
- sistema fotovoltaico interligado à rede;
- sistema de bombeamento fotovoltaico dadas a demanda e profundidade do poço;
- sistema de bombeamento fotovoltaico dada a capacidade e profundidade do poço;
- energia elétrica anual gerada por bagaço de cana de açúcar e
- energia anual gerada pela energia do vento.

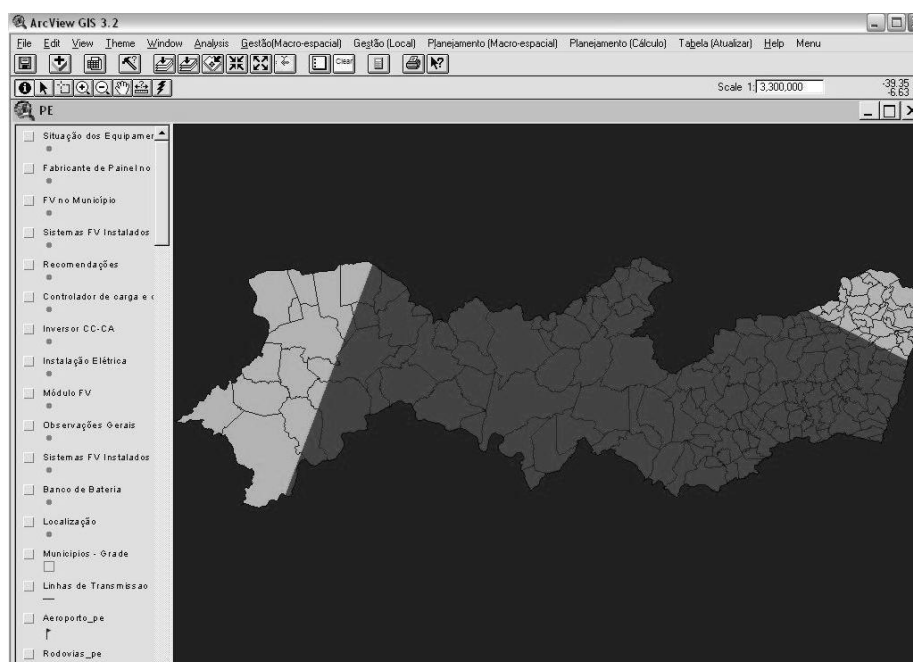


Figura 12 – Funcionalidade do SIGA-SOL, Macro-Planejamento FV, Irradiação solar para o mês de novembro para o estado de Pernambuco.

6.1 Sistemas fotovoltaicos energéticos

Os sistemas energéticos fotovoltaicos autônomos foram dimensionados com a metodologia descrita em detalhes em (TIBA et al, 1998) considerando que:

- O arranjo está posicionado faceando o norte e inclinado em relação a horizontal de um ângulo igual à latitude local mais 15;
- A irradiação solar diária, média mensal no plano horizontal, mínima durante o ano (pior mês);
- São dados: a demanda diária, irradiação solar diária média mensal no plano do coletor, potência nominal do módulo e a sua tensão máxima, tensão do barramento do banco de baterias e a capacidade e tensão de cada bateria;
- Outros dados default: eficiência da bateria e do inversor, profundidade de descarga da bateria e número de dias de armazenamento necessários, fatores de penalidade (derating): para a potência e tensão do módulo em relação à operação diária e para o módulo em relação à temperatura;
- Resultados: Número total de módulos do arranjo, número de módulos em série, capacidade do banco de baterias e número de baterias em série.

O programa desenvolvido para o dimensionamento simplificado de um sistema FV autônomo permite dimensionar um sistema FV para qualquer município dos três estados, dadas a demanda, as características elétricas do módulo, da bateria e do banco de baterias. Para os sistemas interligados a rede o procedimento acima é repetido excluindo as baterias.

6.2 Sistemas de bombeamento de água fotovoltaicos

Os sistemas de bombeamento fotovoltaicos foram dimensionados com a metodologia descrita em detalhes em (TIBA et al, 1998) considerando que:

- O arranjo está posicionado faceando o norte e inclinado em relação a horizontal de um ângulo igual à latitude local mais 15;
- A irradiação solar diária, média mensal no plano horizontal mínimo durante o ano (pior mês);

A estimativa do tamanho do arranjo fotovoltaico foi feita pra duas situações distintas: a) dada a profundidade do poço e a demanda diária da comunidade e b) dada a capacidade do poço e a sua profundidade. No primeiro caso supõe-se que a capacidade do poço é muito grande e sempre suprirá a demanda diária solicitada. Os dados de entrada e default e a sequência de cálculos são dados abaixo.

- Demanda diária ou capacidade do poço, irradiação solar diária média mensal no plano do coletor, potência nominal do módulo e a sua tensão máxima, altura de recalque, eficiência da moto-bomba e inversor;
- Dados default: fatores de penalidade (derating): para a potência e tensão do módulo em relação à operação diária, para o módulo em relação à temperatura e perdas por fricção no circuito hidráulico;
- Resultados: Potência hidráulica necessária, Potência entregue por cada módulo e número de módulos necessários.

A Fig. 13 mostra o menu para o dimensionamento simplificado de um sistema de bombeamento de água FV. O programa permite dimensionar um sistema FV para qualquer município dos três estados, dadas a demanda, as características elétricas do módulo e da profundidade do poço.

Figura 13 – Menu dimensionamento simplificado de sistema de bombeamento de água FV.

6.3 Energia elétrica anual gerada por uma turbina eólica

Para valores de $2 < k < 3$ a relação entre a velocidade média do vento $\bar{V}$ e o fator de escala C pode ser aproximada por:

$$\bar{V} = 0.9C \quad \rightarrow \quad C = 10\bar{V}/9$$

Em bases anuais o fator de forma $k \sim 2.5$ para os estados de AL, PE e PB, conforme, AMARANTE et al (2001). A estimativa simplificada da energia elétrica gerada por uma turbina eólica em bases anuais foi feita com a metodologia descrita em detalhes no RETSCREEN(2007) cuja sequência está sintetizada abaixo:

Dados de entrada

Curva de Potência da turbina: Tabela de potência x velocidade média (W_j x V_j), para velocidade variando de 4 a 25 m/s em intervalo de um m/s

Velocidade média anual: $\bar{V}$ (m/s) (mapa georreferenciado)

Cálculos

Distribuição acumulada de Weibull

$$P(V) = \exp \left\{ - \left(\frac{0.9V}{\bar{V}} \right)^{2.5} \right\}$$

$$P(V_1 < V < V_2) = \exp \left\{ - \left(\frac{0.9V_1}{\bar{v}} \right)^{2.5} \right\} - \exp \left\{ - \left(\frac{0.9V_2}{\bar{v}} \right)^{2.5} \right\}$$

$$P(V_i < V < V_{i+1}) = P_i, V_1 = 3.5 \text{ m/s} \dots V_n = 25.5 \text{ m/s}$$

Energia elétrica gerada anualmente

$$E = 8760 \sum_{i=1}^{22} W_i P_i$$

A Fig. 14 mostra o menu para o cálculo da energia elétrica gerada por uma turbina eólica. O programa permite o cálculo para dois modelos de turbinas default (outras podem ser acrescentadas) e para todos os municípios dos três estados.



Figura 14 – Menu para cálculo da energia elétrica anual gerada por uma turbina eólica

6.4 Energia elétrica anual gerada por queima de bagaço de cana

O potencial de produção de eletricidade com a utilização do bagaço de cana pode ser vista na Tab. 1 onde estão relacionadas à energia elétrica gerada por tonelada de cana moída, a tecnologia atual existente, a melhor tecnologia existente e a tecnologia futura. As abreviaturas usadas na Tabela são: Contrapressão (CP), Condensação com extração de vapor (CEV), Gaseificação de biomassa integrada a turbina a gás (BIG-TG).

Tabela 1 - Energia elétrica gerada por tonelada de cana moída, em função da tecnologia utilizada

Fonte Informação	Potencial de produção de energia elétrica (kWh/tc)					
	21 bar (CP) ¹	42 bar (CEV)	60 bar (CEV)	80 bar (CEV) ²	80 bar (CP)	BIG GT ³
Leão, A. C. (2005)	5	-	-	60	-	250
Macedo, I. (2003)	0-10	-	-	57-69	-	200-300
Usina Caeté (1997)	-	65	83-92	-	40-60	-
Adotado no projeto	5	-	-	63	-	250

¹ Situação atual sem alteração significativa nas usinas e produção por safra.

² Tecnologia existente com alterações nos processos das usinas e produção por safra.

³ Tecnologia em desenvolvimento com alterações nos processos das usinas e produção ano todo.

A Fig. 15 mostra o menu para o calculo da energia elétrica anual gerada por bagaço de cana. O programa permite o calculo para três tecnologias diferentes de co-geração, safras de diferentes anos, e para todos os municípios dos três estados.



Figura 15 – Menu para o calculo da energia elétrica anual gerada por bagaço de cana

Agradecimentos

Agradecemos a Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF), ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRAS), e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES-PROENGENHARIAS) pelo apoio aos projetos de pesquisas em energia solar que propiciaram meios materiais e ambiente científico para a realização dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Amarante, O. C. , Brower, M., Zack, J. and Leite de Sá, A. (2001) Atlas do potencial eólico brasileiro, MME – ELETROBRAS-CEPEL.
- CHESF (2004) Plano de Revitalização e capacitação PRC- PRODEEM, Sistemas Instalados.
- Leão, A. C. (2005) Biomassa, Curso DEFA-CHESF.
- Macedo, I. (2003) VI Seminário Internacional de Geração Distribuída , INEE-WADE, Rio de Janeiro, RJ.
- RETScreen (2007) Photovoltaic projects analysis, www.retscreen.net, Acesso em Abril de 2007.
- Tiba, C. , Fraidenraich, N. e Barbosa, E. M. S. (1998) Instalação de sistemas fotovoltaicos para residências rurais e bombeamento de água, ISBN 85-7315-118-8, Ed. Universitária da UFPE, Recife, Pernambuco.
- Usina Caeté (1997) Sistemas de Co-geração de vapor e energia elétrica, Rewl. BAL 001-1L0040-VerB.

GISA SOL 1.0 - GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM APPLIED TO SOLAR ENERGY

Abstract. This work describes the GISA-SOL 1.0 - Geographic Information System Applied to Solar Energy. The prototype of the GIS tool has three principal modules: management, planning and data up dating. GISA SOL 1.0 have 80 functionalities default which permits the execution of complex technical analyses necessary for the management and planning of an renewable energy program. The system was mainly developed for PV systems as a possible tool of support for the management and planning of the Program of Energetic Development of the States and Municipalities PRODEEM), a program of insertion of large scale photovoltaic solar energy, in the rural environment, directed by the Ministry of Mines and Energy of Brazil.

Key words: GIS, functionalities, management and planning, decision support tool, PRODEEM