

## Potencial das áreas disponíveis ao cultivo de biomassa para produção de energia, nas Microrregiões Sulriograndenses de Cerro Largo, Santa Rosa e Santo Ângelo

Adalberto Koiti Miura <sup>1,2</sup>  
Antonio Roberto Formaggio <sup>2</sup>  
Yosio Edemir Shimabukuro <sup>2</sup>  
Alfredo José Barreto Luiz <sup>3</sup>  
Sergio Delmar dos Anjos <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Clima Temperado  
Caixa Postal 403 - 96010-971 - Pelotas - RS, Brasil  
{adalberto.miura, sergio}@cpact.embrapa.br

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{miura, formag, yosio}@dsr.inpe.br

<sup>3</sup> Embrapa Meio Ambiente  
Caixa Postal 69 - 13820-000 - Jaguariúna - SP, Brasil  
alfredo@cnpma.embrapa.br

**Abstract.** Despite a kind of euphoria represented by the biomass farming to energy and its transformation into biofuels, it must weigh up the suitability and the convenience of the conversion of arable land and the new agricultural frontiers in areas intended for agroenergy, not only in economic and agronomic terms, but also considering the commitments of environmental and social sustainability. In this scenario, the agroenergy planning has a great importance for the tropical developing countries, like Brazil. Thus, this article aims to present an objective and semi-automatic method, based on geotechnologies, which could be applied to a given region of interest to return the available areas with potential to energy crops. As a result, is presented a map of three micro regions of Rio Grande do Sul state (Brazil), where this approach was tested, for identifying and quantifying the territories at different levels of agroenergetic potential.

**Palavras-chave:** geotechnology, agroenergy, territorial planning geotecnologia, agroenergia, planejamento territorial.

### 1. Introdução

A energia proveniente da biomassa cultivada (agroenergia) representa para muitos países, um modelo viável de transição energética entre as atuais fontes fósseis poluidoras e variantes mais limpas e sustentáveis, não somente em termos econômicos, mas também socioambientais. Neste novo cenário, é mister conjugar a segurança energética com as seguranças alimentar e ambiental.

Para isto é necessário que a agroenergia esteja contemplada em estudos macroeconômicos e nos planejamentos energético e territorial, pois, segundo Ramachandra (2009) somente quando as necessidades energéticas estão integradas às preocupações ambientais em nível local e global é possível alcançar o desenvolvimento sustentável para uma região.

A abordagem sistêmica e integradora ofertada pelos ambientes de geoinformação representa uma das mais completas formas de análise deste problema, pois permite que diferentes variáveis possam ser relacionadas e visualizadas, tanto espacialmente como temporalmente, possibilitando também a simulação de cenários.

Desta forma, o presente artigo tem por objetivo apresentar um conjunto das contribuições das geotecnologias, em especial os sistemas de informação geográfica - SIG, para os processos de identificação e quantificação das áreas de potencial à agroenergia disponíveis, de forma objetiva e semi-automática, que poderia ser empregado, no contexto bioenergético brasileiro, como importante subsídio à tomada de decisão por parte de gestores territoriais, agrários e energéticos.

## 1.1 Áreas (Territórios) Potenciais

Entende-se por *áreas* ou *territórios potenciais* àquelas que, por características intrínsecas (naturais, geográficas, sociais), econômicas ou políticas são vocacionadas ou apresentam aptidão para algum tipo de atividade, uso ou fim (COUNCIL OF EUROPE, 2007). A *avaliação do potencial das terras* é a melhor forma para conciliar as necessidades sociais e econômicas regionais, salvaguardando os recursos naturais para usos futuros (FAO, 1993). Segundo Rossiter (1996), há vários métodos de avaliação das terras capazes de predizer seu potencial, com base em seus atributos físicos, biológicos e socioeconômicos, de modo funcional ou estético, qualitativo ou quantitativo, estático ou dinâmico.

O *planejamento agroenergético* deve considerar os diferentes níveis de potencialidade das áreas aptas à produção de biomassa energética, para que possa ser definida, de modo restrito ou participativo, dentre as muitas soluções ótimas, a mais adequada para o atendimento da demanda bioenergética, no momento e circunstância avaliados, para o território de interesse. Assim, há níveis distintos de Áreas Potenciais, a partir das quais, torna-se inequívoca a vocação das terras à produção de agroenergia, pois as ambigüidades são dirimidas pelo refinamento:

- a) *Área de Potencial Primária para Agroenergia (APPA)*: diz respeito ao conjunto máximo de áreas agricultáveis desta região, passíveis a cultivos energéticos por suas características naturais, como clima, relevo e solo;
- b) *Área de Potencial Disponível para Agroenergia (APDA)*: exclui da APPA os locais impedidos legalmente, fisicamente, institucionalmente (*i.e.* corpos d'água, cidades, áreas militares, afloramentos rochosos, APPs - áreas de proteção permanente-, unidades de conservação, etc.);
- c) *Área de Potencial Ajustada para Agroenergia (APAA)*: exclui das superfícies de APDA os locais que não estão coadunados com a cultura considerada para o recebimento de investimentos de agroenergia, levando-se em conta variáveis como infraestrutura, uso atual das terras, aptidão agrícola, aspectos ambientais e características socioeconômicas, etc.;
- d) *Área de Potencial Efetiva para Agroenergia (APEA)*: refere-se ao potencial agroenergético real e desambiguado da região de interesse (Áreas Potenciais Prioritárias à Agroenergia), levando-se em conta as vantagens de conversões de usos em relação aos usos já existentes e entre as culturas energéticas consideradas, além de aspectos logísticos), de custos e de consumo da agroenergia a ser produzida, considerando apenas os locais de alto potencial.

## 1.2 Planejamento Agroenergético Baseado em Geotecnologias

De uma forma geral, o cultivo de biomassa para produção de energia pode ocorrer em qualquer área agricultável. Entretanto, para garantir os interesses aparentemente antagônicos, como desenvolvimento econômico e biodiversidade, os governos precisam fornecer marcos legais e incentivos fiscais/financeiros necessários aos territórios vocacionados à produção de energia renovável, tornando viável alcançar um tipo de planejamento territorial com vistas a uma sustentabilidade energética e ambiental (Voivontas et al., 2001; Brasil, 2007).

O *planejamento agroenergético* deve ser entendido como o conjunto de etapas envolvidas na análise de viabilidade econômica, localização, produção de biomassa, comercialização, beneficiamento, produção de bioenergia, consumo e destinação de resíduos (Nibbi et al., 2004). Esta atividade deveria ser prioritária para os principais agentes e vetores setoriais envolvidos com o tema (Voivontas et al., 2001), visto que o suprimento energético é estratégico para o desenvolvimento das nações (Ramachandra, 2009), pois incrementos na atividade agropecuária ou industrial demandam energia (Jebaraj e Iniyar, 2006). Adicionalmente, é necessário considerar, para as fontes de biomassa, sua dinâmica natural, tanto ao longo do tempo, quanto sobre um território (Noon e Daly, 1996), bem como os interesses dos diferentes *stakeholders*, tornando o planejamento para a bioenergia algo muito complexo (Hektor, 2000).

Diferentes ferramentas e métodos derivados das geotecnologias podem ser empregados na análise e planejamento agroenergético. Destacam-se o sensoriamento remoto (SR) e os sistemas

de informação geográfica (SIG), coadjuvados ou não por inteligência artificial, abordagens multicritérios e modelagem dinâmica espacial.

O SR fornece uma visão sinótica sobre o uso/cobertura das terras do espaço geográfico considerado. Adicionalmente, para o caso específico da bioenergia, também favorece outras análises, como: indicação da disponibilidade de terras para fins de produção de biomassa, previsão de safra, monitoramento do desenvolvimento e quantidade da biomassa. O SR também tem sido utilizado no levantamento e monitoramento das mudanças de uso e cobertura da terra advindos da expansão da agroenergia, bem como de seus impactos ambientais, contribuição às mudanças climáticas e inventário de seqüestro de carbono, dentre outras aplicações (Sudha e Ravindranath, 1999; Rizzi e Rudorff, 2007; Ramachandra, 2007; Firbank, 2008).

Os SIGs permitem recuperar, armazenar e visualizar dados espacializados, facilitando a análise de dados, integrando vários níveis de informação, para gerar novos dados e conhecimentos. São encontrados na literatura vários exemplos do uso do SIG, como a avaliação de disponibilidade de biomassa para fins energéticos, adequabilidade das terras para agroenergia, localização ótima de plantas de geração de energia de biomassa, otimização de custos, bem como auxiliar na avaliação dos impactos ambientais em todo o ciclo de vida dos produtos e serviços associados à bioenergia e no monitoramento de gases de efeito estufa (Dominguez e Marcos, 2000; Voivontas et al., 2001; Gnansounou et al., 2008; Panichelli et al., 2009).

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1 Área de Estudo

O presente estudo teve foco em 40 municípios de três microrregiões (Cerro Largo, Santo Ângelo e Santa Rosa) da Mesorregião Noroeste do Rio Grande do Sul (IBGE, 2004), num polígono delimitado pelas latitudes 27°27' e 29°01' Sul e longitudes de 53°54' e 55°47' Oeste (Figura 01), totalizando uma área de 16.434,90 km<sup>2</sup>.

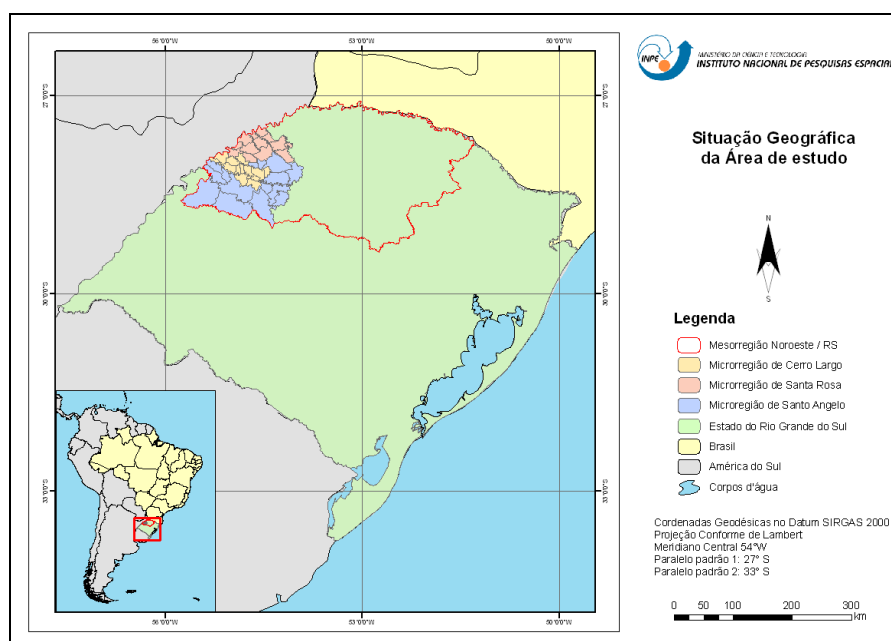


Figura 1 – Área de Estudo, correspondendo a 40 municípios das Microrregiões de Cerro Largo (amarelo claro), Santa Rosa (rosa) e Santo Ângelo (azul), no noroeste do Rio Grande do Sul.

Para a escolha da área de estudo e das culturas agrícolas abordadas foram considerados vários fatores, dentre os quais, citam-se: a) região agrícola tradicional; b) histórico no cultivo de agroenergéticos (soja e cana-de-açúcar); c) presença dos modelos de agricultura empresarial e

familiar; d) existência de unidades de processamento de produtos agroenergéticos. Outrossim, a área de estudo contém territórios considerados aptos ao cultivo da soja e da cana-de-açúcar pelos zoneamentos agrícolas publicados pelo Ministério da Agricultura (Brasil, 2009a; 2009b).

## 2.2 Construção do Banco de Dados Geográficos

Foi realizado um levantamento das informações carto-temáticas disponíveis para a área de estudo, tais como: limites municipais, áreas urbanas, hidrografia, malha viária (Weber e Hasenack, 2007), zoneamento agrícola (Brasil, 2009a; 2009b), solos (IBGE, 2003), aptidão agrícola (Brasil, 1978), vegetação, unidades ambientais (FEPAM, 2006), relevo e geologia (CPRM; SEMA, 2005). Além disso, também foram utilizados dados provenientes de censos demográficos e agropecuários, indicadores socioeconômicos (IBGE, FEE) e dados orbitais (LANDSAT, SRTM).

Os planos de informação derivados das bases carto-temáticas da região de estudo foram materializados no SIG *ArcGis* 9.1® (ESRI, 2005), em especial aqueles relativos às classes de solos, relevo e zoneamentos agrícolas. Os dados orbitais altimétricos provenientes do SRTM Rev. 4 (*Shuttle Radar Topography Mission, Revision 4*) (Jarvis et al., 2008) foram pré-processados no software *ENVI* 4.3® (RSI, 2006), em seguida foram analisados com as extensões *Spatial Analyst*® (ESRI, 2005) a fim de se derivar a hipsometria e a declividade.

Todas as informações foram levadas para um mesmo referencial cartográfico, sendo a escala de trabalho de 1:250.000 (semi-detulhe), no datum SIRGAS 2000 (IBGE, 2005), e pelo sistema de projeção Conforme Cônica de Lambert, por se tratar de região de latitude superior a 25°S e estar em área de transição entre fusos UTM.

## 2.3 Obtenção da Área de Potencial Primária para Agroenergia (APPA)

Considerando uma região de interesse, a *Área de Potencial Primário para Agroenergia (APPA)* foi obtida pela integração dos planos de informação (PIs) referentes a limites políticos, solos, declividade e zoneamentos agrícolas (que já consideram os riscos climáticos) e bacias hidrográficas. Em síntese, esta integração resultou no total de áreas agricultáveis da região de interesse e foi realizada através do método overlay, que consiste na sobreposição de PIs, procedidas de operações algébricas e lógicas entre os PIs (MCHARG, 1992; BURROUGH, 1986; ARANOFF, 1995), com a regra de decisão observada na Tabela 1.

Tabela 1 - Regra de decisão para a definição das *Áreas de Potencial Primárias e Disponíveis à Agroenergia*.

| Classe de Solo \ Declividade | Neossolo Litólico | Nitossolo Vermelho | Latossolo Vermelho             | Cambissolo Háplico Eutrófico              | Gleissolo                            |
|------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------------------|---|--------------------------------------|
| $x \leq 3$                   | Impróprio         | Médio Potencial    | Alto Potencial                 | Impróprio                                 | Impróprio                            |
| $3 < x \leq 8$               | Impróprio         | Médio Potencial    | Alto Potencial                 | Impróprio                                 | Impróprio                            |
| $8 < x \leq 12$              | Impróprio         | Médio Potencial    | Alto Potencial                 | Impróprio                                 | Impróprio                            |
| $12 < x \leq 20$             | Impróprio         | Baixo Potencial    | Baixo Potencial                | Impróprio                                 | Impróprio                            |
| $20 < x \leq 45$             | Impróprio         | Baixo Potencial    | Baixo Potencial                | Impróprio                                 | Impróprio                            |
| $45 < x$                     | Impróprio         | Impróprio          | Impróprio                      | Impróprio                                 | Impróprio                            |
| Outras classes de Restrição  | Manchas Urbanas   | Área Militar       | APP e Unidades de Conservação, | Reservas Indígenas e Sítios Arqueológicos | Corpos d'água e Afloramento Rochosos |
| Status                       | Impróprio         | Impróprio          | Impróprio                      | Impróprio                                 | Impróprio                            |

## 2.4 Obtenção da Área de Potencial Disponível para Agroenergia (APDA)

De acordo com o preconizado pelo Código Florestal (Lei Federal Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965) e pelas resoluções do CONAMA Nº 302 e Nº 303 (de 20 de março de 2002) (CONAMA, 2008), que versam sobre as áreas de preservação permanente – APP, estas foram adaptadas à escala de trabalho adotada (1:250.000) e materializadas em ambiente SIG, para

viabilizar a obtenção da APDA, excluindo-se as superfícies impedidas fisicamente, legalmente e institucionalmente para o cultivo agroenergético, por meio de consultas ao banco de dados geográfico – BDG, utilizando-se de operadores matemáticos e lógicos do SIG.

### 3. Resultados e Discussão

Do total de 16.434,90 km<sup>2</sup>, relativos à região de estudo, cerca de 67,5% (11.092,70 km<sup>2</sup>), podem ser considerados próprios e virtualmente disponíveis para algum tipo de cultivo de biomassa energética (Tabela 2), incluindo-se as áreas de alto potencial (sem restrição), médio potencial (exigem técnicas de manejo conservacionista) e as de baixo potencial (restritas às florestas energéticas) (Figura 2).

Tabela 2 – Quantificação das Áreas de Potencial Disponível à Agroenergia para as microrregiões de Santa Rosa, Santo Ângelo e Cerro Largo.

| Classes             | Áreas de Potencial Primária à Agroenergia -APPA |      | Áreas de Potencial Disponível à Agroenergia -APDA |      |
|---------------------|---|------|---|------|
|                     | km <sup>2</sup>                                 | %    | km <sup>2</sup>                                   | %    |
| Potencial Alto (a)  | 8.688,90  | 52,8 | 8.207,20  | 49,9 |
| Potencial Médio (b) | 2.715,20  | 16,5 | 2.515,30  | 15,3 |
| Potencial Baixo (c) | 389,70  | 2,4  | 370,20  | 2,3  |
| Imprópria (d)       | 4.641,10  | 28,2 | 5.342,20  | 32,5 |
| Total               | 16.434,90                                       | 100  | 16.434,90   | 100  |

Legenda: (a) sem restrições; (b) requer manejo conservacionista; (c) indicado apenas para florestas energéticas; (d) áreas inaptas. Inclui restrições físicas, legais e institucionais.

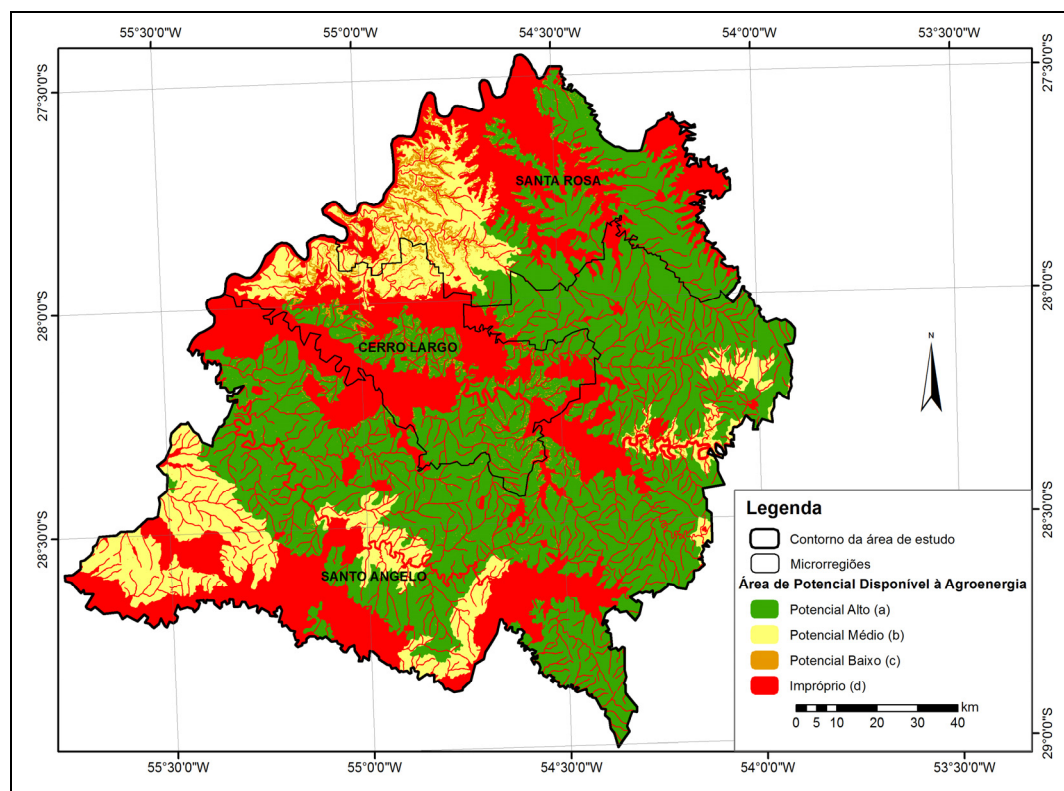


Figura 2 – Área de Potencial Disponível à Agroenergia das microrregiões sulriograndenses de Santa Rosa, Santo Ângelo e Cerro Largo. (a) sem restrições; (b) requer manejo conservacionista; (c) indicado apenas para florestas energéticas; (d) inclui restrições físicas, legais e institucionais (APPs, Áreas Urbanas, etc.).

Entretanto, dentre as áreas consideradas impróprias (32,5%) e virtualmente inaptas ou indisponíveis ao cultivo energético, atualmente existem algumas com diferentes modalidades de uso agrícola do solo, em diferentes níveis tecnológicos. A principal atividade nestas áreas é a pecuária extensiva, muito embora sejam observadas áreas de cultivo de grãos, como soja e milho.

No presente estudo, as pastagens não foram consideradas como possíveis cultivos energéticos, pois, frente ao atual nível tecnológico e cultivares utilizados, não se prestam aos processos de conversão da biomassa em bioenergia. Muitos dos locais identificados como impróprios, são na realidade aptos às pastagens, devido às condições edafoclimáticas locais, comuns para as áreas que estão sob o domínio do bioma Pampa, com reflexos diretos na cobertura e no uso atual das terras.

Em relação às áreas consideradas próprias e disponíveis para florestas energéticas (2,3% ou 370,20 km<sup>2</sup>), o total obtido poderia ser ampliado caso as áreas com cambissolos em terrenos ondulados fossem incorporadas. São conhecidos muitos plantios florestais que ocorrem nestas condições, apesar da atividade florestal sobre estes solos em relevos ondulados não ser tecnicamente recomendada em função dos riscos ambientais associados, porém são frequentemente praticadas em todo o país em função da disponibilidade e preço das terras bem como proximidade de plantas industriais do segmento de papel e celulose.

Dentre as microrregiões compreendidas pela área de estudo, a de Santo Ângelo concentra as áreas com alto potencial para cultivos agroenergéticos ( $\approx 58\%$ ) e a menor quantidade de terras consideradas impróprias ( $\approx 27\%$ ) (Tabela 3), contrastando com a Microrregião de Cerro Largo que reúne quantidade expressiva de áreas consideradas impróprias ( $\approx 46\%$ ).

Tabela 3 – Áreas de Potencial Disponível à Agroenergia por Microrregiões.

| Classes \ Microrregiões | Cerro Largo     |      | Santa Rosa      |      | Santo Ângelo    |      | Área Total<br>km <sup>2</sup> |
|-------------------------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|-------------------------------|
|                         | km <sup>2</sup> | %    | km <sup>2</sup> | %    | km <sup>2</sup> | %    |                               |
| Potencial Alto          | 816,26          | 35,8 | 1.270,34        | 36,1 | 6.120,60        | 57,9 | 8.207,20                      |
| Potencial Médio         | 332,82          | 14,2 | 662,05          | 19,0 | 1.520,43        | 14,4 | 2.515,30                      |
| Potencial Baixo         | 105,76          | 4,3  | 210,70          | 6,1  | 53,74           | 0,5  | 370,20                        |
| Imprópria               | 1.099,58        | 45,7 | 1.355,20        | 38,8 | 2.887,42        | 27,2 | 5.342,20                      |
| Área Total              | 2.543,22        | 100  | 3.449,16        | 100  | 10.442,52       | 100  | 16.436,90                     |

O método utilizado para a definição das *APPAs* e *APDAs* guardam semelhanças com os sistemas de avaliação Agrícola das Terras (FAO, 1993; Ramalho-Filho e Beck, 1995; Rossiter, 1996), cujo propósito é subsidiar a decisão sobre qual atividade agrosilvopastoril é mais adequada ao território analisado em função de suas características, limitações e condições de manejo. Entretanto, o método utilizado para a *APPA* e *APDA*, objetiva apenas identificar áreas ideais à produção de cultivos agroenergéticos, não se levando conta outros possíveis usos, assim como não requer detalhes relativos à fertilidade das terras, risco de erosão, dentre outros.

#### 4. Conclusão

O método proposto oferece uma possibilidade rápida e sinótica de análise territorial para a agroenergia em função de alguns critérios de fácil obtenção e manuseio, como a declividade e o levantamento exploratório de solos.

A opção pela utilização de três classes com algum potencial à biomassa energética, amplia o leque de opções de culturas para a região ao incluir as florestas energéticas nos locais onde a declividade impede ou dificulta a mecanização de lavouras.

As *Áreas de Potencial Disponíveis à Agroenergia* oferecem uma visão de como poderia ser o uso da terra para o cultivo energético desde que os limites ambientais e legais fossem respeitados. Entretanto os usos atuais das terras demonstra a superutilização do território em discordância com o que estabelece a legislação vigente e as boas práticas agronômicas.

A maleabilidade do método empregado é um ponto a ser destacado, podendo obter-se resultados com o material cartotemático disponível e permite ser aprimorado à medida que se aumente a qualidade e a abrangência dos dados de entrada. Este resultado, de maior refinamento, contribui para a tomada de decisão quanto aos locais passíveis de investimento em biomassa energética.

Como recomendações, sugere-se:

- a) Obter a *Área Potencial Ajustado para Agroenergia* e a *Área de Potencial Efetivo para Agroenergia* como forma de aperfeiçoar o processo decisório na escolha de áreas destinadas a receber investimentos e, principalmente, àquelas em que a conversão de uso deve ser evitada.
- b) Aplicar este método em outras regiões produtoras como forma de avaliar sua adequabilidade e limitações.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à FAPESP pelos auspícios financeiros, ao INPE e à Embrapa pelo apoio institucional e disponibilização de infraestrutura e recursos humanos.

### **Referências**

- ARONOFF, S. **Geographic Information Systems: A management Perspective**. Ottawa:WDL, 1995. 294p.
- BRASIL. Lei Federal Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal Brasileiro. **Diário Oficial da União**, Brasília, 16. set.. 1965. V. 103, n177, Seção 1, p. 01.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Planejamento agrícola. **Aptidão agrícola das terras**. Brasília: SUPLAN,1978. 55p. (Série Estudos Básicos para o Planejamento Agrícola: RioGrande do Sul) .....
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 332, de 1 de dezembro de 2009. Aprova o Zoneamento Agrícola para a cultura de cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul, ano-safra 2009/2010. **Diário Oficial da União** , Brasília, 02. dez. 2009a. v.146, n. 230, Seção 1, p. 04.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 126, de 20 de julho de 2009. Aprova o Zoneamento Agrícola para a cultura de soja no Estado do Rio Grande do Sul, ano-safra 2009/2010. **Diário Oficial da União**, Brasília, 21 jul. 2009b. Nº73, Seção 1, p. 09.
- BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Gestão. Comissão Européia. **Textos de Referência em Planejamento Territorial Integrado**. Brasília: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2007. 90p.
- BURROUGH, P.A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. New York: Oxford University Press, 1986. 194p.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA).. **Resoluções do Conama**: resoluções vigentes publicadas entre julho de 1984 e novembro de 2008. 2ed. Brasília: Conama, 2008. 928 p.
- COUNCIL OF EUROPE. European Conference of Ministers responsible for Spatial/Regional Planning (CEMAT). **Spatial development glossary**. Strasbourg: Council of Europe, 2007. 77p.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM); SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - RS (SEMA). 2005. **Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000**. Porto Alegre: CPRM: SEMA, 2005. 1CD-ROM.
- DOMINGUEZ, J. ;MARCOS, M. J. Análisis de la producción potencial de energía con biomasa en la región de Andalucía (España) utilizando sistemas de información geográfica. **Cybergeo, v.Environment, Nature, Paysage**, n.article 142, 15 nov. 2000.
- ENVIROMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). **ArcGis Desktop 9.1**. Redlands (CA), 2005. 1 CD-ROM
- FIRBANK, L. Assessing the Ecological Impacts of Bioenergy Projects. **BioEnergy Research**, v.1, n.1, p.12-19. 2008.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Guidelines for land-use planning**. Roma: FAO, 1993. 96 pp. (FAO Development Series 1).

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER (FEPAM). **Descrição do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FEPAM, 2006. CD-ROM.

GNANSOUNOU, E.; DAURIAT, A.; PANICHELLI, L.; VILLEGAS, J. Energy and greenhouse gas balances of biofuels: biases induced by LCA modelling choices. **Journal of Scientific and Industrial Research**, v.67, 2008, p.885 - 897. 2008

HEKTOR, B. Planning models for bioenergy: Some general observations and comments. **Biomass and Bioenergy**, v. 18, n. 4, p. 279-282. 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malha municipal digital do Brasil. Situação em 2001**. v.2. Projeção Policônica. Rio de Janeiro, 2004. 1 CD-ROM.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Resolução do Presidente do IBGE N° 1/2005**. Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro. Disponível em: <[ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pmrg/legislacao/RPR\\_01\\_25fev2005.pdf](http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pmrg/legislacao/RPR_01_25fev2005.pdf)>. Acesso em: 26. maio 2008.

JARVIS, A.; REUTER, H.I.; NELSON, A., GUEVARA, E. **Hole-filled seamless SRTM data V4**. International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), 2008. Disponível em: <<http://srtm.csi.cgiar.org/>>. Acesso em: 09.set. 2009.

JEBARAJ, S.; INIYAN, S. A review of energy models. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.10, n.4, p.281-311. 2006.

MCHARG, I. **Design with nature**. New York: Jonh Wiley & Sons, 1992. 198 p.

NIBBI, L.; TONDI, G.; MARTELLI, F.; MALTAGLIATI, S.; CHIARAMONTI, D.; RICCIO, G.; BERNETTI, I.; FAGARAZZI, C.; FRATINI, R. Gis methodology and tool to analyse and optimise biomass resources exploitation. In: 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Rome, Italy. 10-14 May 2004. **Anais...** Disponível em: <[http://web.etaflorence.it/uploads/media/OE2\\_2\\_01.pdf](http://web.etaflorence.it/uploads/media/OE2_2_01.pdf)>. Acesso em 15 maio 2009.

NOON, C. E.; DALY, M. J. GIS-based biomass resource assessment with BRAVO. **Biomass and Bioenergy**, v.10, n.2-3, p.101-109. 1996.

PANICHELLI, L.; DAURIAT, A.; GNANSOUNOU, E. Life cycle assessment of soybean-based biodiesel in Argentina for export. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v.14, n.2, p.144-159. 2009.

RAMACHANDRA, T. V. Comparative Assessment of Techniques for Bioresource Monitoring Using GIS and Remote Sensing. **The Icfai Journal of Environmental Sciences**, v.1, n.2, p. 7-47. 2007.

RAMACHANDRA, T. V. RIEP: Regional integrated energy plan. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.13, n.2, p.285-317. 2009.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPQ, 1995. 65p.

RESEARCH SYSTEMS INC. (RSI). **The Environment for Visualizing Images – ENVI**. Boulder, CO, USA, 2006

RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T. Imagens do sensor MODIS associadas a um modelo agrônomo para estimar a produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.73-80. 2007.

ROSSITER, D.G. A theoretical framework for land evaluation. **Geoderma**, v. 72, n. 3-4, pp. 165-202, 1996.

SUDHA, P.; RAVINDRANATH; N. H. Land availability and biomass production potential in India. **Biomass and Bioenergy**, v.16, n.3, p.207-221. 1999.

VOIVONTAS, D.; ASSIMACOPOULOS, D; KOUKIOS, E. G. Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method. **Biomass and Bioenergy**, v.20, n.2, p.101-112. 2001.

WEBER, E.; HASENACK, H. (org.) **Base cartográfica digital do Rio Grande do Sul - escala 1:250.000**. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2007. 1 CD-ROM. (Série Geoprocessamento, 1)