



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## **Análise do uso e expansão da cana-de-açúcar na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio utilizando a abordagem de "Landscape Design"**

Cauã Guilherme Miranda- Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Michelle Cristina Araujo Picoli-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Núria Aparecida Miatto Rampazo-Universidade Estadual de Campinas, Daniel Garbellini Duft-Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE/CNPEM), Pedro Gerber Machado-Instituto de Energia e Ambiente - Universidade de São Paulo, Katia Regina Evaristo de Jesus-Embrapa Meio Ambiente – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Archimedes Perez Filho-Instituto de Geociências - Universidade Estadual de Campina

Artigo recebido em 31/08/2018 e aceito em 15/01/2019

### **RESUMO**

Com a crescente demanda e consequente expansão da produção de etanol, é inquestionável a necessidade de avaliar os impactos da produção de cana-de-açúcar sobre a sociedade e o meio ambiente. O conceito de *Landscape Design* visa a análise sustentável da paisagem levando em consideração aspectos ambientais e socioeconômicos envolvidos na paisagem e sua influência nesta; são planos para alocação de recursos que podem sugerir um caminho para a gestão sustentável da produção do etanol. Neste trabalho foi aplicado uma metodologia de análise espacial utilizando Sistema de Informações Geográficas (SIG) e o método estatístico de Análise de Componentes Principais para dados Categóricos (ACPCAT) para verificar quais áreas, dentro da bacia hidrográfica do Rio Santo Anastácio, sofreriam com os impactos da mudança de uso da terra causado pelo avanço da cana-de-açúcar nesta região. A área total expandida (3.375,19 ha) foi menor que a área total regredida (3.821,22 ha), significando uma redução de 1,69% da área plantada na região. Porém, quando analisadas separadamente as áreas pouco e muito sensíveis, a regressão sobre a área muito sensível foi de 864,44 ha. Já nas áreas pouco sensíveis ocorreu uma expansão da cultura de cana-de-açúcar de 422,41 ha. Mesmo que a regressão seja maior que a expansão do cultivo de cana-de-açúcar, ela ocorreu nas áreas muito sensíveis, enquanto a maioria da expansão deu-se em áreas pouco sensíveis. Os mapas finais baseados na ACPCAT e a discussão gerada a partir deles são um ponto de partida para políticas públicas sustentáveis.

Palavras-chave: *Landscape Design*, Sistema de Informações Geográficas (SIG), Análise de Componentes Principais para dados Categóricos (ACPCAT), Rio Santo Anastácio.

## **Analysis of sugarcane use and expansion in Santo Anastácio river watershed using the Landscape Design Approach**

### **ABSTRACT**

With the increasing demand and consequent expansion of ethanol production, there is an unquestionable need to assess the sugarcane production impacts on society and the environment. The concept of *Landscape Design* aims at sustainable landscape analysis considering environmental and socioeconomic aspects involved in landscape and their influence on this; it is a plan to resource allocation that may suggest a path to sustainable management of ethanol production. In this article, it is applied a spatial analysis methodology using Geographic Information System (GIS) and the Categorical Principal Component Analysis (CATPCA) statistical method to check which areas, within the watershed of the Santo Anastacio river, suffer with the land use change impacts caused by the advance of sugarcane in this region. Total expanded area (3,374.19 ha) was smaller than the total area regressed (3,821.22 ha), meaning a reduction of 1.69% of the area planted with sugarcane in this area. However, when analyzed between low and very sensitive areas, the regression over the very sensitive area was 864.44 ha. In the less sensitive areas, there was an expansion of the sugarcane crop in 422.41 ha. Even though the regression is greater than the expansion of sugarcane cultivation, it occurred in very sensitive areas, while most of the expansion took place in less sensitive areas. The CATPCA-based final maps and the discussion generated from them are a starting point for sustainable public policies.

Keywords: *Landscape Design*, Geographic Information System (GIS), Categorical Principal Component Analysis (CATPCA), Santo Anastácio River.

## Introdução

O interesse mundial na produção e consumo de biocombustíveis (principalmente etanol e biodiesel) vem crescendo desde a virada do século, devido às preocupações ambientais e principalmente à necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) (Walter *et al.*, 2014).

Com a crescente demanda e consequente expansão da produção de etanol, é inquestionável a necessidade de avaliar os impactos da produção de cana-de-açúcar sobre a sociedade e o meio ambiente. Neste sentido, vários artigos têm trabalhado com o conceito de *Landscape Design*, focando no sistema de produção e na integração deste aos outros fatores da terra, meio ambiente e sistema socioeconômico.

*Landscape Design* é um conjunto de planos para alocação de recursos que podem sugerir um caminho para uma gestão sustentável para diversas atividades econômicas, inclusive para a produção de etanol. O resultado gerado tem o objetivo de promover ações práticas para a produção de bioenergia enquanto mantém ou melhora a sustentabilidade da cadeia produtiva Dale *et al.*, 2016).

*Landscape Design* pode ser aplicado a diferentes escalas, se encaixando no sistema existente, mantendo ou aumentando a qualidade do ecossistema e dos serviços sociais locais. Cada situação é caracterizada pela sua distribuição, pela política local, pelas decisões tomadas pelas partes envolvidas, pela localização, pelas influências temporais e pela escala espacial utilizada. Além disso, a boa administração, instituições fortes, acesso a informações sobre estratégias e táticas de gestão adequadas podem apoiar o uso dos recursos mais sustentável fazendo com que o território possa se beneficiar dos ecossistemas e dos processos sociais (Efroymsen *et al.*, 2013; Dale *et al.*, 2013).

Desenvolver sistemas de *Landscape Design* leva tempo e necessita de planejamento prévio. Apropriadamente aplicada, esta abordagem pode orientar as escolhas em relação a disposição sustentável da bioenergia e outros serviços (Dale *et al.*, 2016).

**Landscape design** - O termo *Landscape Design* pode ser aplicado para abordagens de otimização para maximizar o lucro e, e minimizar os impactos ambientais de uma ou mais etapas da cadeia produtiva de diversos produtos e serviços, incluindo a produção de bioenergia, mas também

como uma forma de identificar locais apropriados, formas e abordagens de gestão para a produção de matéria-prima (Dale *et al.*, 2016; Field *et al.*, 2016; Nair *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2013) (Gopalakrishnan *et al.*, 2013). Além disso, *Landscape Design* tem sido também utilizado como uma ponte entre a modelagem energética e de planejamento espacial (Blaschke *et al.*, 2013).

Em termos econômicos, uma abordagem em paisagem visa diminuir ou eliminar externalidades entre os setores que se baseiam no uso da terra; já em termos de planejamento, o *Landscape Design* considera um conjunto mais completo de variáveis, evitando ações precipitadas e incentivando o esforço inicial de uma maior quantidade de agentes interessados em encontrar melhores soluções para os problemas relacionados (Holmgren, 2013).

Segundo Dale et al. (2016) o objetivo deste tipo de abordagem é englobar o monitoramento e a avaliação de um conjunto de indicadores de qualidade de solo, qualidade e quantidade de água, gases de efeito estufa (GEE), biodiversidade, qualidade do ar, e de produtividade, assim como indicadores políticos e socioeconômicos, para uma gestão mais complexa de paisagens de forma integrada e holística, que engloba a análise dos diferentes usos nessas paisagens num processo coeso de gestão.

A aplicação desta abordagem na produção de biocombustível, neste caso o etanol, requer atenção para o contexto em que esta produção está inserida (Efroymsen *et al.*, 2013). O planejamento mais apropriado depende das diferentes condições biofísicas, ambientais, sociais e políticas encontradas em escala local (Duvenage *et al.*, 2013).

A avaliação gerada por esta abordagem deve incluir algumas qualidades contextuais, tais como: o clima e microclima; topografia e declividade; uso da terra anterior e atual; condições quali-quantitativas do ar, da água e do solo; zoneamento e legislação local; acesso e circulação de pessoas; questões de igualdade de renda e acesso a recursos; entre outros (Dale *et al.*, 2016). Joly et al. (2015) também afirmam que o modelo resultante tem como objeto fornecer um plano prático para o desenvolvimento de planejamento de recursos bioenergéticos, mantendo ou melhorando a sustentabilidade tanto dos sistemas de serviços ambientais quanto dos sistemas socioeconômicos. A abordagem de *Landscape Design* é capaz de prestar serviços ecossistêmicos de forma adequada ao mesmo tempo que integra as partes sociais e

econômicas na cadeia produtiva em diferentes escalas de análise e planejamento.

Blaschke et al. (2013) trabalharam com este conceito aplicado a modelagem de energias renováveis. Segundo o autor, fontes de energia renovável são múltiplas e variam em sua disponibilidade espacial e temporal. Desta forma, se torna claro que o uso de Sistema de Informações Geográficas (SIG) é uma ferramenta adequada não só para analisar estado atual da produção de etanol, mas também para visualizar áreas com potenciais de oferta e demanda passíveis à expansão da produção de biocombustível.

Observa-se que a modelagem espaço-temporal dos recursos energéticos deve levar em conta as características do espaço em que é efetivo e não apenas a demanda e potencial energético de cada local (Blaschke *et al.*, 2013).

No relatório "Impacts of Biofuel Production", publicado pela Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) e produzido por Van der Hilst et al. (2013), foi realizado um estudo sobre os impactos da produção de biocombustíveis na Argentina, Moçambique e Ucrânia. Van der Hilst et al. (2013) levaram em consideração dados e índices oficiais informados por órgãos nacionais destes países ou por instâncias internacionais responsáveis por estes. A metodologia empregada nesse relatório integrou os diferentes tipos de dados a partir de uma normatização destes, deixando-os classificados em classes iguais. Em seguida, a partir de um software SIG, estas informações foram integradas espacialmente, e a partir disso, fez-se a compilação de todos os mapas gerados a partir de média simples da soma dos valores de cada mapa, gerando um mapa final com a vulnerabilidade de cada região estudada.

Contudo, apesar de Van der Hilst et al. (2013) apresentarem uma metodologia para a integração de todos os diversos indicadores, o método utilizado pelos autores no cálculo de verificação da vulnerabilidade da produção de biocombustíveis foi uma média de todos os índices. Pelo fato de a avaliação dos impactos da produção de biocombustíveis ser tão complexa é necessário, pelo menos, um cálculo que represente essas complexidades e as interações entre os níveis de informação, que são distintos entre si.

Abson et al. (2012) analisaram em seu trabalho a vulnerabilidade socioecológica para a região da Comunidade para o Desenvolvimento da África Austral (SADC) através do método estatístico de análise de componentes principais (ACP). Esse método converte um número de variáveis potencialmente correlacionadas (com algum atributo comum, tais como pontos no espaço ou no tempo) para um conjunto de variáveis não correlacionadas, que captam a variabilidade dos dados subjacentes, ou seja, faz uma correlação automática dos índices oficiais e indica quais destes devem ser alocados junto a outros.

Outra vantagem do método de ACP é o fato de gerar mais de um mapa final, ou seja, mais informações precisas (por não correlacionar índices distintos) para a tomada de decisão dada pelos agentes envolvidos (Abson *et al.*, 2012). Com os dados e índices normalizados e calculando uma simples média, é possível que o resultado não represente de forma confiável a realidade, já a partir do método de ACP, criam-se algumas categorias com os dados mais correlacionados, fazendo com que os resultados gerados sejam mais confiáveis.

Baseando-se conceitualmente em Gopalakrishnan et al. (2012), este trabalho é aplicado uma metodologia de análise espacial da produção de biocombustível derivado da cana-de-açúcar (etanol) com a abordagem interdisciplinar de *Landscape Design* através de dados e índices oficiais, imagens de satélite e ferramentas de Sistema de Informações Geográficas (SIG), visando uma produção de cana-de-açúcar mais sustentável. Com isso, espera-se que estes planos de ação possam ser executados pelos tomadores de decisão das áreas analisadas para adequar e/ou aumentar a sustentabilidade destas.

## **Materiais e métodos**

**Área de estudo** - A escolha da área de estudo foi a bacia hidrográfica do Rio Santo Anastácio (Figura 1), afluente do Rio Paraná, localizado na microrregião de Presidente Prudente no estado de São Paulo com uma área de 2114,41 km<sup>2</sup> abrangendo doze municípios<sup>1</sup> desta microrregião.

<sup>1</sup> Regente Feijó, Anhumas, Presidente Prudente, Álvares Machado, Pirapozinho, Presidente Bernardes,

Santo Anastácio, Piqueroibi, Presidente Venceslau, Marabá Paulista, Caiuá, Presidente Epitácio.

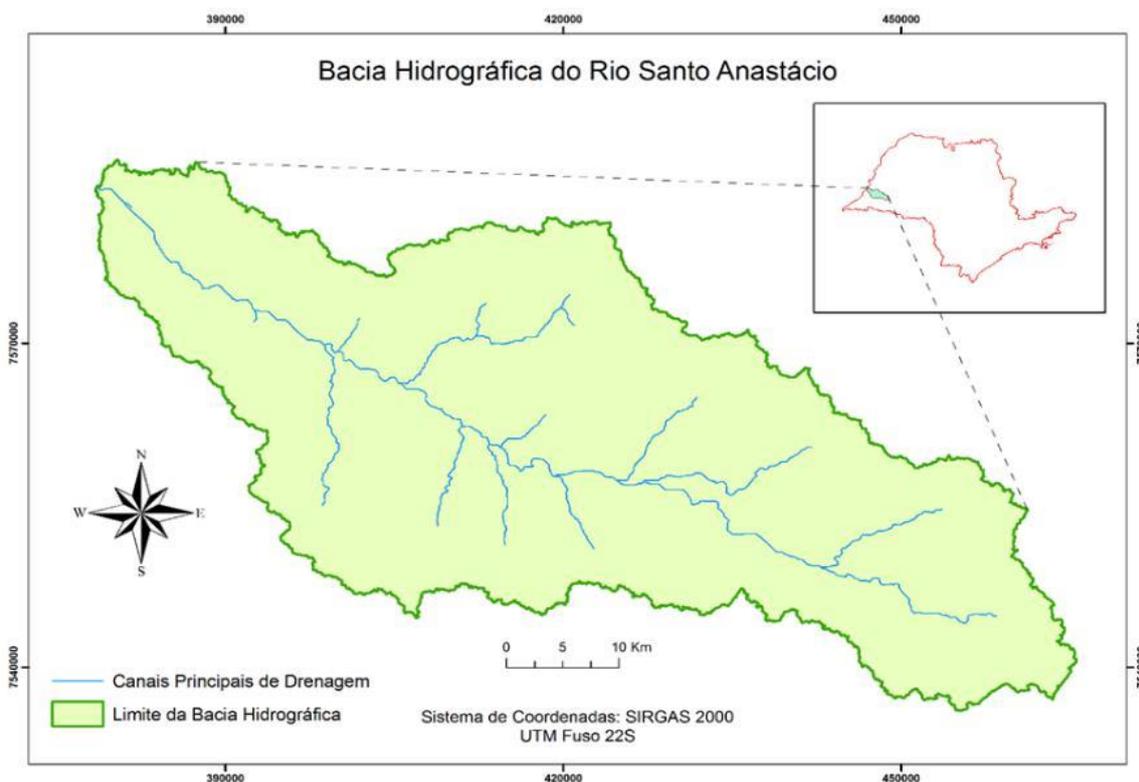


Figura 1. Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Anastácio.

Foram considerados para a escolha da área o seu tamanho, seus limites e as informações disponíveis que poderiam ser utilizadas.

**Indicadores** - Todos os indicadores foram classificados de 1 a 3 de acordo com a sua

sensibilidade<sup>2</sup> (baixa, média e alta sensibilidade) à mudança de uso para o cultivo de cana-de-açúcar para melhor associação e entendimento destes. Os indicadores foram escolhidos pela sua disponibilidade e por serem dados oficiais (Tabela 1).

1 Tabela 1. Resumo dos indicadores utilizados na análise

Indicadores	Ano	Fonte dos dados
Recursos hídricos	2015	ANA
Declividade	-	SRTM/NASA
APA	2008	SMA/SP
ZAE - Cana-de-açúcar	2009	Embrapa
Aptidão agrícola	2009	Embrapa
Suscetibilidade a erosão	2016	GADIS - Unesp
Conflito de uso da terra	2016	GADIS - Unesp
Assentamentos rurais	2016	GADIS – Unesp, dados do INCRA
Empregos	2013	RAIS/MTE
Renda	2013	RAIS/MTE
Anos de estudo	2013	RAIS/MTE
Trabalho infantil	2013	RAIS/MTE
GPG	2013	Calculado a partir dos dados do RAIS/MTE
Trabalho escravo	2009	Repórter Brasil (2009), dados do MTE
Plano diretor	2013	IBGE

2 Miranda, C.G. Picoli, M. C. A., Rampazo, N. A. M., Duft, D. G., Machado, P. G., Evaristo de Jesus, K. R., Perez Filho, A.

**Suscetibilidade a erosão** - A perda de solo por erosão é considerada um dos maiores e mais alarmantes problemas ambientais, o que causa declínio dos rendimentos das culturas, aumentando os custos de produção, diminuindo, por conseguinte, a lucratividade da lavoura, entre outros danos, que em conjunto influenciam a qualidade de vida na Terra (Cobuloglu e Büyüktaktın, 2015).

Neste, os dados foram obtidos através do Grupo de Pesquisa Gestão Ambiental e Dinâmica Socioespacial (GADIS, 2016) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP – Presidente Prudente).

Esta classe foi dividida nos seguintes níveis de sensibilidade:

- Baixa Sensibilidade (1) – Muito Baixa e Baixa suscetibilidade a erosão;
- Média Sensibilidade (2) – Média suscetibilidade a erosão;
- Alta Sensibilidade (3) – Alta e Muito Alta suscetibilidade a erosão.

**Recursos hídricos – Balanço quali-quantitativo** - Em busca de um indicador que compreendesse tanto o aspecto qualitativo como o quantitativo dos recursos hídricos, optou-se pelo balanço quali-quantitativo das bacias hidrográficas brasileiras, elaborado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2015).

O balanço foi elaborado buscando uma visão integrada dos dois aspectos: a criticidade qualitativa foi determinada pelo indicador de capacidade de assimilação dos corpos d’água e a criticidade quantitativa, pela relação entre a demanda consuntiva (vazão de retirada) e a disponibilidade hídrica dos rios.

O balanço apresenta quatro classes: satisfatório, criticidade qualitativa, criticidade quantitativa e criticidade quali-quantitativa.

Esta classe foi dividida nos seguintes níveis de sensibilidade:

- Baixa Sensibilidade (1) – Situação satisfatória;
- Média Sensibilidade (2) – Criticidade qualitativa ou quantitativa;
- Alta Sensibilidade (3) – Criticidade quali-quantitativa.

**Declividade** - Para a declividade, foram utilizadas como base imagens de satélite provenientes da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA, 2016). Para a

divisão das classes será considerado a capacidade de mecanização das áreas, já que a colheita mecânica é considerada ambientalmente mais adequada, por evitar a queima da palha.

Esta classe foi dividida nos seguintes níveis de sensibilidade:

- Baixa Sensibilidade (1) – <12% de declividade;
- Média Sensibilidade (2) – 12-15% de declividade;
- Alta Sensibilidade (3) – >15% de declividade.

**Áreas de proteção ambiental** - Essenciais para saber os locais em que já estão estabelecidas essas unidades de conservação. O mapa utilizado como base foi elaborado pela Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo em 2008. Este indicador foi empregado no tocante ao conhecimento das áreas em que não se pode plantar cana-de-açúcar, pois são Áreas de Proteção Ambiental (APA).

Esta classe foi dividida nos seguintes níveis de sensibilidade:

- Baixa Sensibilidade (1) – Sem APA;
- Alta Sensibilidade (3) – Com APA.

**Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar** - O uso da terra foi obtido do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar (ZAE), mapa elaborado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) em 2009. A divisão de classes baseou-se na própria classificação da Embrapa (2009):

- Baixa sensibilidade (1) – Áreas de pastagens;
- Média sensibilidade (2) – Áreas com agropecuária;
- Alta sensibilidade (3) – Áreas com agricultura.

Áreas com uso para agricultura foram consideradas de alta sensibilidade, pois a expansão da cana-de-açúcar para essa região implicaria na questão da segurança alimentar. Van der Hilst et al. (2013) afirmam que o cultivo de bicompostíveis não pode competir com outros tipos de uso da terra, sobretudo com o cultivo de gêneros alimentícios, garantindo assim a segurança alimentar. Áreas de baixa sensibilidade seriam as pastagens, pois geralmente são grandes áreas que poderiam ser utilizadas para o cultivo de cana-de-açúcar sem que este competisse com a produção de alimentos, já

que a pecuária pode ser realizada de outras formas (não extensivas).

**Aptidão agrícola** - A aptidão agrícola – ou pedoclimática – também foi obtida do ZAE da Embrapa (2009), que classificou a aptidão das áreas indicadas para a expansão da cana-de-açúcar.

Mapas de aptidão agrícola fornecem informações objetivas que podem ser aplicadas tanto no planejamento agrícola como na avaliação da adequabilidade do uso das terras, permitindo apontar áreas que estão adequadas, subutilizadas ou superutilizadas por essas atividades. Esta solução tecnológica foi desenvolvida pela Embrapa em parceria com outras instituições.

Esta classe foi dividida nos seguintes níveis de sensibilidade:

- Baixa Sensibilidade (1) – Áreas com alta aptidão agrícola;
- Média Sensibilidade (2) – Áreas com média aptidão agrícola;
- Alta Sensibilidade (3) – Áreas com baixa aptidão agrícola.

**Porcentagem de empregos no cultivo da cana em relação à agricultura** - Consiste na participação (%) do cultivo de cana-de-açúcar no número de empregos no setor “Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura” por município e foi obtido junto ao banco de dados da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) do Ministério do Emprego e Trabalho (MTE, 2015). Os dados são referentes ao ano de 2013.

A divisão das classes considerou a atestação de Machado et al. (2017), que concluiu que, quanto maior a dependência da economia local da atividade canavieira, piores são os indicadores socioeconômicos.

Esta classe foi dividida nos seguintes níveis de sensibilidade:

- Baixa Sensibilidade (1) – <25% de participação do cultivo de cana no número de empregos no setor;
- Média Sensibilidade (2) – 25-50% de participação do cultivo de cana no número de empregos no setor;
- Alta Sensibilidade (3) – >50% de participação do cultivo de cana no número de empregos no setor.

**Renda média mensal do trabalhador na agricultura** - Assim como a variável anterior, os dados deste indicador foram obtidos junto à RAIS (MTE, 2015) e são referentes ao ano de 2013. Esta

variável consiste exatamente na renda média mensal do trabalhador empregado na agricultura por município.

Comparou-se este dado ao salário mínimo vigente no ano de 2013 (R\$ 678,00) e à despesa monetária média mensal familiar rural (R\$ 1.484,93), valor inicialmente calculado pela POF 2008-2009 (IBGE, 2010) e atualizado para 2013 a partir do Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC/IBGE).

Esta classe foi dividida nos seguintes níveis de sensibilidade:

- Baixa Sensibilidade (1) – Renda acima de R\$ 1484,93;
- Média Sensibilidade (2) – Renda entre R\$ 678,00 e R\$ 1484,93;
- Alta Sensibilidade (3) – Renda abaixo de R\$ 678,00.

**Anos de estudos dos trabalhadores na agricultura** - Os dados para o cálculo desta variável foram coletados junto à RAIS (MTE, 2015) e se referem aos trabalhadores empregados na agricultura por município.

Considerando que, quanto menor a escolaridade do trabalhador, mais difícil é para que consiga outro emprego caso seja despedido do cultivo de cana, as classes foram divididas da seguinte forma:

- Baixa sensibilidade (1) – Município com maioria dos trabalhadores Analfabetos a 5ª série incompleto;
- Média sensibilidade (2) – Município com maioria dos trabalhadores com a 5ª série completa a ensino médio incompleto;
- Alta sensibilidade (3) – Município com maioria dos trabalhadores com o ensino médio completo a ensino superior completo.

**Trabalho infantil** - Buscaram-se registros de trabalho infantil na RAIS (MTE, 2015), na qual a informação se refere à faixa etária de dez a catorze anos. Cabe ressaltar que na RAIS (MTE, 2015) são registrados apenas trabalhadores formais e, portanto, possíveis ocorrências de trabalho infantil informal não foram encontradas neste banco de dados. Esta classe foi dividida nos seguintes níveis de sensibilidade:

- Baixa Sensibilidade (1) – Sem casos de trabalho infantil;
- Alta Sensibilidade (3) – Com casos de trabalho infantil.

**Trabalho escravo** - Em busca de dados sobre trabalho escravo no cultivo de cana-de-açúcar, consultaram-se a lista mais atual<sup>3</sup> de autuações do MTE, divulgada pela Organização Não-Governamental Repórter Brasil, no documento denominado “O Brasil dos Agrocombustíveis – Cana: Impacto das lavouras sobre a terra, o meio e a sociedade”. Este documento foi elaborado pela Repórter Brasil em 2009 e possui uma seção referente a mão-de-obra escrava nas lavouras canavieiras. Esta classe foi dividida nos seguintes níveis de sensibilidade:

- Baixa Sensibilidade (1) – Sem casos de trabalho escravo;
- Alta Sensibilidade (3) – Com casos de trabalho escravo.

**Conflitos de uso da terra** - O mapeamento das áreas de conflitos de uso do solo é uma informação elaborada pelo (GADIS, 2016), em que informa como as áreas rurais estão sendo utilizadas, no sentido de verificar as zonas com maior ou menor intensidade de uso, classificando em áreas subutilizadas, sem conflito e superutilizadas.

Esta classe foi dividida nos seguintes níveis de sensibilidade:

- Baixa Sensibilidade (1) – Áreas subutilizadas e sem conflito;
- Alta Sensibilidade (3) – Áreas superutilizadas.

**Assentamentos rurais** - Resultado de movimentos sociais com fins de propriedade da terra, os assentamentos rurais são importantes para a análise por estas áreas serem destinadas apenas para fins de compensação social no meio rural. Estas áreas não poderão, teoricamente, serem ocupadas por grandes produtores agrícolas de cana-de-açúcar e destinadas ao arrendamento de terras.

Os dados sobre assentamentos rurais foram obtidos através do GADIS (2016), que mapeou todas as áreas ocupadas por este tipo de uso.

A divisão em classes foi da seguinte maneira:

- Baixa Sensibilidade (1) – Áreas sem assentamento;

- Alta Sensibilidade (3) – Áreas de assentamento.

**Plano diretor municipal** - Instrumento que norteia a política de desenvolvimento na esfera municipal, o Plano Diretor é fundamental para que tenha um planejamento adequado tanto na paisagem urbana quanto rural.

Para tanto será utilizado os dados municipais do IBGE relativos ao ano de 2013, que informam se os municípios abrangidos pela área de estudo possuem ou não Planos Diretores.

A divisão em classes foi da seguinte maneira:

- Baixa Sensibilidade (1) – Municípios com Plano Diretor;
- Alta Sensibilidade (3) – Municípios sem Plano Diretor.

**Gender Pay Gap (GPG)** - O indicador *Gender Pay Gap* (GPG) representa a diferença de renda entre os gêneros no setor da agricultura. Ele foi calculado a partir dos dados da RAIS (MTE, 2015) (renda por gênero e número de horas trabalhadas por gênero no setor da agricultura) e é expressado em porcentagem (%). Valores negativos de GPG indicam que a renda da mulher é maior que a do homem e valores positivos, o inverso. Já valores iguais a zero indica que os salários de ambos os sexos são equivalentes.

Portanto a divisão em sensibilidade ficou da seguinte maneira:

- Baixa sensibilidade (1) – GPG negativo;
- Média sensibilidade (2) – GPG igual a zero;
- Alta sensibilidade (3) – GPG positivo.

Um resumo dos indicadores utilizados neste artigo pode ser observado no Tabela 1. E os mapas dos indicadores, da bacia hidrográfica do Rio Santo Anastácio, já classificados conforme as classes de sensibilidade podem ser conferidas na Figura 2.

<sup>3</sup> Nesta lista há registros do uso de trabalho escravo para todos os estados brasileiros. No caso do estado de São Paulo, a maioria das autuações era referente a oficinas de costura e, nos registros restantes, havia a

indicação de que o local é localizado em área rural – nestes casos, verificou-se na internet a especialidade da propriedade rural e do nome do produtor responsável – nenhum referente à cana-de-açúcar.

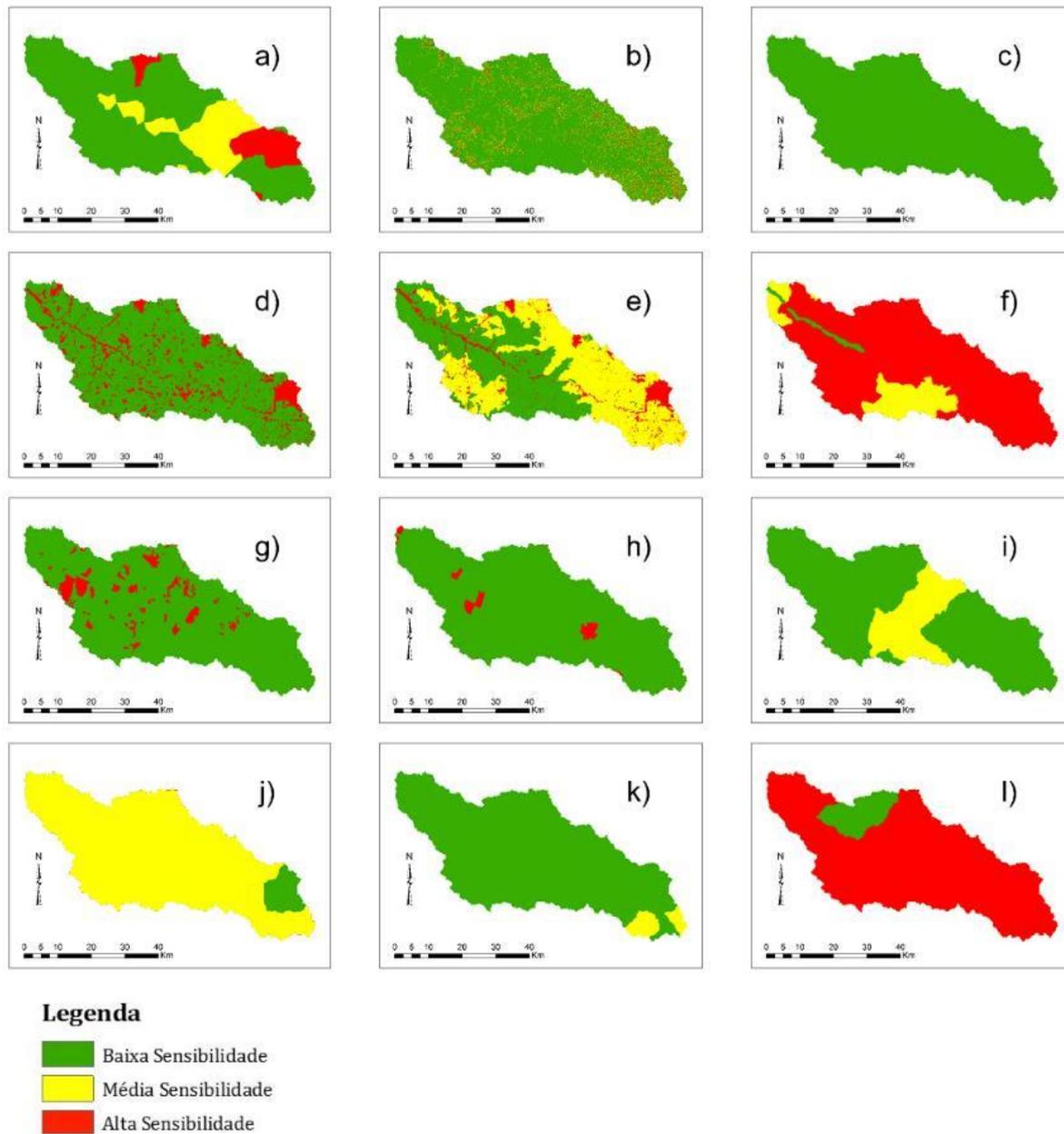


Figura 2. Indicadores classificados em Sensibilidade: Balanço quali-quantitativo dos recursos hídricos (a); Declividade (b); Áreas de proteção ambiental (c); ZAE – Cana-de-açúcar (d); Aptidão agrícola (e); Suscetibilidade a erosão (f); Conflito de uso da terra (g); Assentamentos rurais (h); Porcentagem de empregos no cultivo de cana em relação à agricultura (i); Renda média mensal do trabalhador na agricultura (j); Anos de estudo dos trabalhadores na agricultura (k); Trabalho infantil (l); GPG (m); Trabalho escravo (n); Plano diretor municipal (o).

### Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho é uma adaptação dos métodos utilizados por Van der Hirst et al. (2013) e Abson et al. (2012), sendo que os índices e dados oficiais foram, para melhor compreensão, categorizados em três classes: baixa, média e alta sensibilidade à mudança de uso para cana-de-açúcar.

Com os dados em mãos, foi feita a classificação da sensibilidade de cada um deles de 1 a 3 (baixa, média e alta sensibilidade) de acordo

com seus impactos no sistema. Em um SIG foi-se colocando todas as informações em pontos em distâncias pré-definidas de 30 x 30 metros. Após extrair as informações de cada variável para a malha de pontos criada, foi aplicado o método estatístico de Análise de Componentes Principais para Dados Categorizados (ACPCAT), gerando as componentes principais.

Em seguida, os dados foram normalizados e inseridos novamente em um SIG, tornando possível a confecção dos mapas finais. Por fim, os

mapas finais foram analisados e, com isso, fez-se a discussão de como estes impactos estavam influenciando na sustentabilidade e como, estrategicamente, poderia acontecer uma expansão menos agressiva ambientalmente, socialmente e economicamente da produção de cana-de-açúcar.

Para uma aplicabilidade satisfatória foi necessário fazer alguns testes estatísticos sobre a variância dos valores dos indicadores. Abson et al. (2012) recomendaram os testes de Kaiser–Meyer–Olkin (KMO) e o teste de esfericidade de Bartlett.

O KMO é uma estatística que indica a proporção da variância dos dados que pode ser considerada comum a todas as variáveis e é usado para avaliar a adequação da análise fatorial destas variáveis. O teste de esfericidade de Bartlett verifica se a matriz de correlação é uma matriz identidade, o que indicaria que não há correlação entre os dados. Dessa forma, assumiu-se para o nível de significância de 5%.

Abson et al. (2012) salientam que o valor de KMO deve ser maior que 0,5 e o valor do teste (p-valor) de Bartlett ser menor ou igual a 0,05 para que o resultado seja adequado. Outro critério adotado foi o de Kaiser, que diz que, para o resultado ser adequado, os autovalores de cada componente principal devem ser maiores que 1,0.

Aplicada a primeira parte da metodologia, foram obtidos os valores de sensibilidade de cada indicador. Em seguida, com o SIG (software

ArcGIS), foi feita a extração de todos estes dados para o mesmo arquivo de pontos em grade de 30 metros de espaçamento entre eles, para que pudessem ser gerenciados conjuntamente em formato de tabela. A partir disso foi calculado o método estatístico de ACPCAT no software SPSS, inserindo a tabela gerada no software ArcGIS.

Calculou-se a correlação da variância dos indicadores e chegou-se num resultado com três componentes (Tabela 2), sendo que três dos indicadores (GPG, trabalho escravo e APAs) não apresentaram variância em seus dados e por isso não foram considerados neste trabalho. Com o teste KMO igual a 0,514, o teste de Bartlett igual a zero e o autovalor dos componentes maior que 1 cumpriu-se os requisitos estipuladas por Abson et al. (2012). Foram testados resultados com mais componentes, mas não apresentaram testes estatísticos satisfatórios. Para cada ponto da análise fez-se a normalização destes resultados utilizando os coeficientes de cada Componente Principal.

Os dados normalizados foram transformados em *raster* (dados matriciais), com resolução espacial de trinta metros, com isso obteve-se os três mapas finais, cada um representando uma componente principal (PC) dado pela ACPCAT. Os mapas finais (Figuras 3, 4 e 5) foram nomeados de acordo com os indicadores mais influentes em cada componente principal.

1

Tabela 2. Resultado da Análise de Componentes Principais de Dados Categóricos

Indicadores	Dimensões		
	1	2	3
Empregos na Cana-de-açúcar em relação a agricultura	-0,268	-0,696	0,226
Anos de estudos na agricultura	0,006	0,270	0,240
Plano Diretor	-0,161	0,703	0,391
ZAE	0,689	-0,167	0,413
Conflito de Uso da Terra	-0,138	0,097	-0,101
Trabalho Infantil	-0,043	-0,020	0,675
Assentamentos Rurais	-0,044	0,118	-0,051
Aptidão Agrícola	0,813	-0,046	0,309
Suscetibilidade a erosão	0,218	0,658	-0,205
Renda na Agricultura	-0,688	-0,080	0,163
Declividade	0,209	0,204	0,146
Recursos Hídricos	0,673	-0,054	-0,408

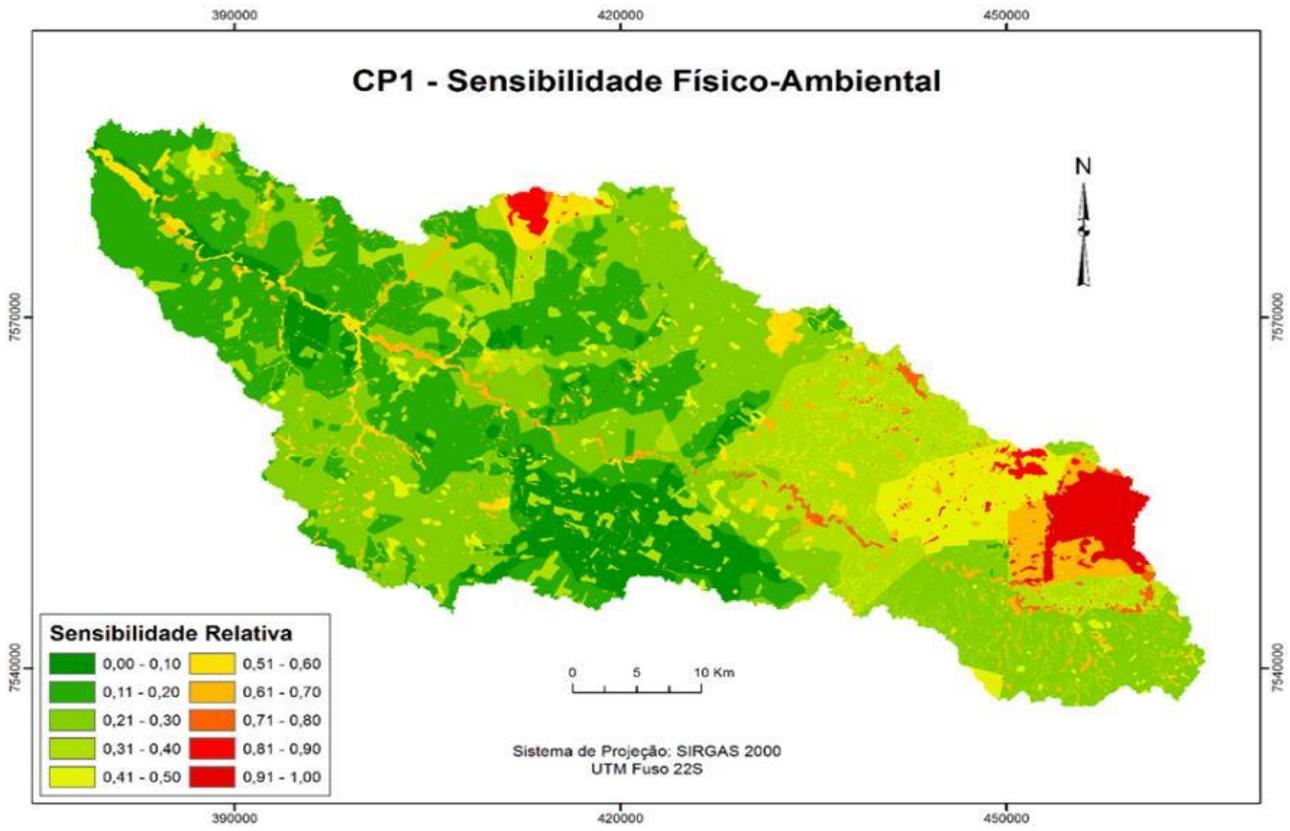


Figura 3. Mapa de Sensibilidade Físico-Ambiental (CP1)

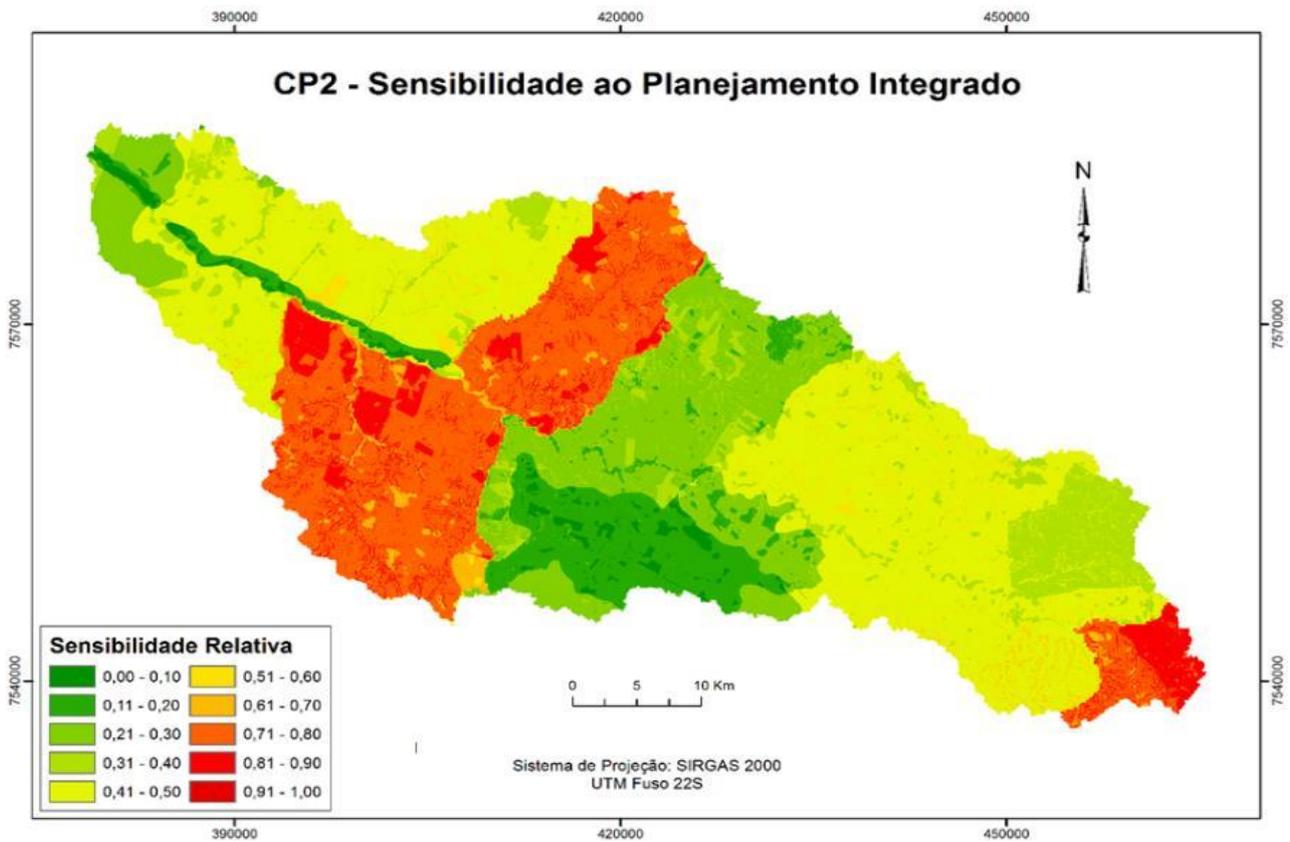


Figura 4. Mapa de Sensibilidade ao Planejamento Integrado (CP2)

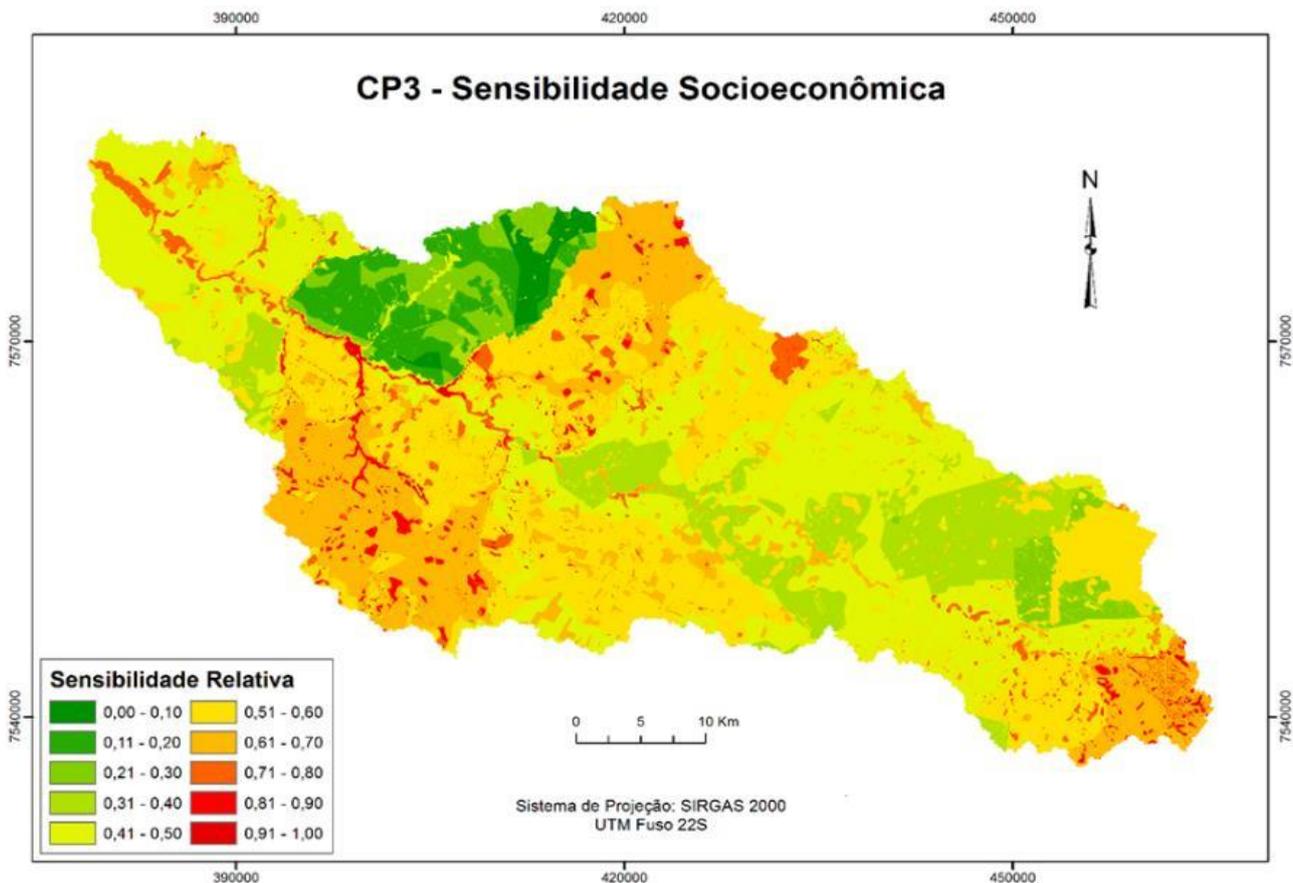


Figura 5. Mapa de Sensibilidade Socioeconômica (CP3)

### Resultados e discussão

O mapa gerado pela primeira componente principal (CP1) representa majoritariamente os indicadores: a) declividade, b) ZAE, c) aptidão agrícola e o d) balanço quali-quantitativo de recursos hídricos, por tanto foi nomeado de “Sensibilidade Físico-Ambiental”. No mapa da segunda componente principal (CP2), os indicadores com maior peso foram: a) plano diretor municipal, b) conflito de uso da terra, c) anos de estudo dos trabalhadores na agricultura, d) suscetibilidade a erosão e e) assentamentos rurais e, foi nomeado de “Sensibilidade ao Planejamento Integrado”. Já a terceira componente (CP3) gerada, os indicadores com maior influência foram: a) porcentagem de empregos no cultivo de cana em relação à agricultura, b) trabalho infantil e c) renda média do trabalhador na agricultura e nomeado de “Sensibilidade Socioeconômica”.

Como se pode observar no mapa da CP1 (Figura 3), as áreas que apresentam maior sensibilidade, na realidade são áreas urbanas e representam regiões com alta sensibilidade hídrica devido ao consumo deste recurso pelas populações destes locais. Por isso, apresentam uma maior sensibilidade físico-ambiental e dificilmente

ocorreria uma mudança de uso da terra para o cultivo da cana-de-açúcar. Áreas de menor sensibilidade, com exceção de alguns locais específicos, são áreas já ocupadas pelo cultivo da cana-de-açúcar por terem melhores condições físico-ambientais para seu plantio. Mesmo que os maiores valores de sensibilidade estejam localizados em áreas urbanas, os resultados entre 0,4 e 0,8 representam regiões rurais próximas a estas áreas urbanas e áreas de várzea e de proteção permanente.

Caso estas áreas não forem adequadamente geridas, deixando com que a mudança de uso da terra aconteça de forma indiscriminada, os impactos físico-ambientais serão evidentes: áreas próximas às cidades tornarão o balanço quali-quantitativo dos recursos hídricos mais deficiente e áreas ricas em biodiversidade serão ocupadas.

O planejamento pela ótica do *Landscape Design* entra na questão para mitigar estes possíveis problemas, o mapa da CP1 é uma ferramenta para o poder público conseguir embasar suas políticas em torno da questão ambiental em áreas agricultáveis, e, utilizando-o de forma sensata, os problemas citados acima serão evitados.

Já a CP2 (Figura 4) demonstra como o planejamento integrado é fundamental para uma

adequação sustentável dos usos da terra e como o espaço é sensível a qualquer tipo de impacto que não seja planejado. O indicador de plano diretor municipal foi o que mais pesou para que algumas áreas ficassem com sensibilidade alta. Aqueles municípios que não têm plano diretor regulamentando quaisquer zoneamentos para uso da terra, causando, portanto, um uso desorganizado e orgânico do território e, no caso do cultivo da cana-de-açúcar, abrindo brechas para uma expansão desenfreada e agressiva em áreas não condizentes para tal função. Para que esta condição não ocorra, é necessário que os municípios em questão criem seus próprios planos diretores, incluindo nestes uma parte que trate do zoneamento rural e do planejamento de possíveis cenários de mudança de uso da terra, principalmente a mudança para a cana-de-açúcar.

Prevedo o que possa acontecer neste sentido, o impacto sobre o ambiente e a sociedade seria minimizado, fazendo com que esta expansão aconteça de maneira racional e sustentável. Uma ampliação deste cultivo nestas áreas sem um planejamento adequado seria algo problemático, visto que a expansão se daria por terrenos inadequados e estes municípios ficariam ainda mais dependentes de uma única fonte de renda na agricultura.

Na CP3 é possível observar áreas de maior e menor sensibilidade em relação aos atributos socioeconômicos. Neste mapa (Figura 5), o indicador de maior representatividade foi o de trabalho infantil, que demonstra certo atraso em práticas trabalhistas do setor nesta região, pois apenas um município pertencente à bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio não apresentou registros de trabalho infantil. Outros fatores determinantes para este componente principal foram os de porcentagem de empregos no cultivo de cana em relação à agricultura e de renda média do trabalhador na agricultura. Um representando a dependência econômica da produção de cana-de-açúcar em relação a outros tipos de culturas no setor da agricultura e outro o quanto o trabalhador agrícola é bem ou mal remunerado.

A partir do mapa de sensibilidade socioeconômica observa-se como a região desta bacia hidrográfica é muito debilitada neste assunto, sem um planejamento adequado não há como

reverter este quadro, ou até mesmo é possível gerar uma piora na situação, caso a cana se expanda por áreas não recomendadas, deixando a economia ainda mais dependente de sua produção. Porém, com um planejamento e uma gestão adequados, essa situação é passível de melhora. Uma maior rigidez na fiscalização trabalhista, por exemplo, seria uma das ferramentas iniciais para tal objetivo, outra seria o zoneamento e definição de áreas menos sensíveis a impactos negativos para a expansão da cana-de-açúcar.

Em seguida foi realizada uma comparação dos dados de 2013 e 2015 do projeto CANASAT do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (CANASAT, 2016) (Figura 6), verificando as áreas de expansão e regressão do plantio de cana-de-açúcar que ocorreram neste período (Tabela 3).

Tabela 3. Áreas de plantio de cana-de-açúcar entre 2013 e 2015

<b>Tipo de cana-de-açúcar</b>	<b>Área (ha)</b>
Em reforma	1495,44
Expandida	3375,19
Reformada	648,15
Regredida	3821,22
Soca	17092,04
<b>Total</b>	<b>26432,04</b>

Para avaliar as possíveis áreas ideais para expansão da cana-de-açúcar separou-se as áreas em maior e menor sensibilidade. As áreas pouco sensíveis traçadas com valores de sensibilidade relativa dos três CPs  $\leq 0,5$ . As áreas muito sensíveis foram classificadas as que possuíam qualquer um dos valores de sensibilidade relativa das CPs  $> 0,5$  e valor de declividade maior que 12%, visto que são locais onde o plantio da cana-de-açúcar não é recomendado. Com esta informação e com os dados da expansão da cana de açúcar na região entre 2013 e 2015 foi possível verificar em que áreas esse plantio vem sendo realizado e onde seriam as regiões indicadas para a expansão do cultivo que causariam menores impactos negativos (Figura 7 e Tabela 4).

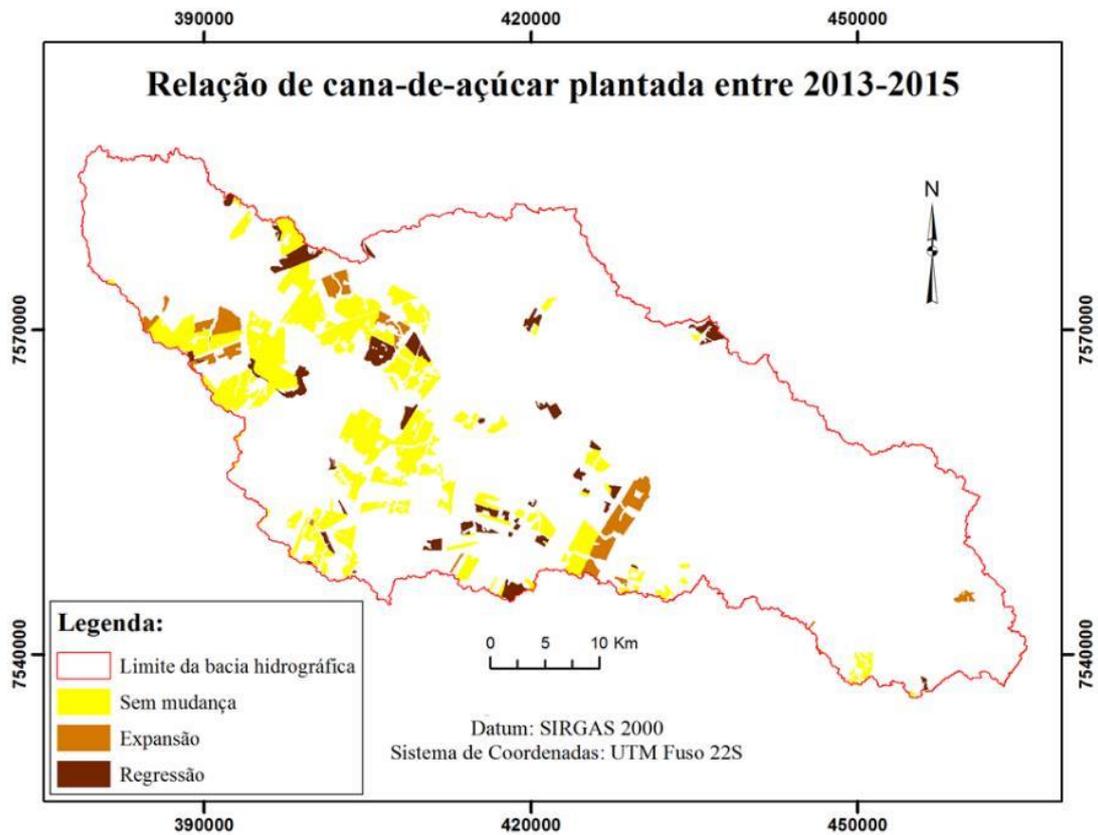


Figura 6. Relação de cana-de-açúcar plantada entre 2013 e 2015. Elaborado a partir dos dados do CANASAT (2016).

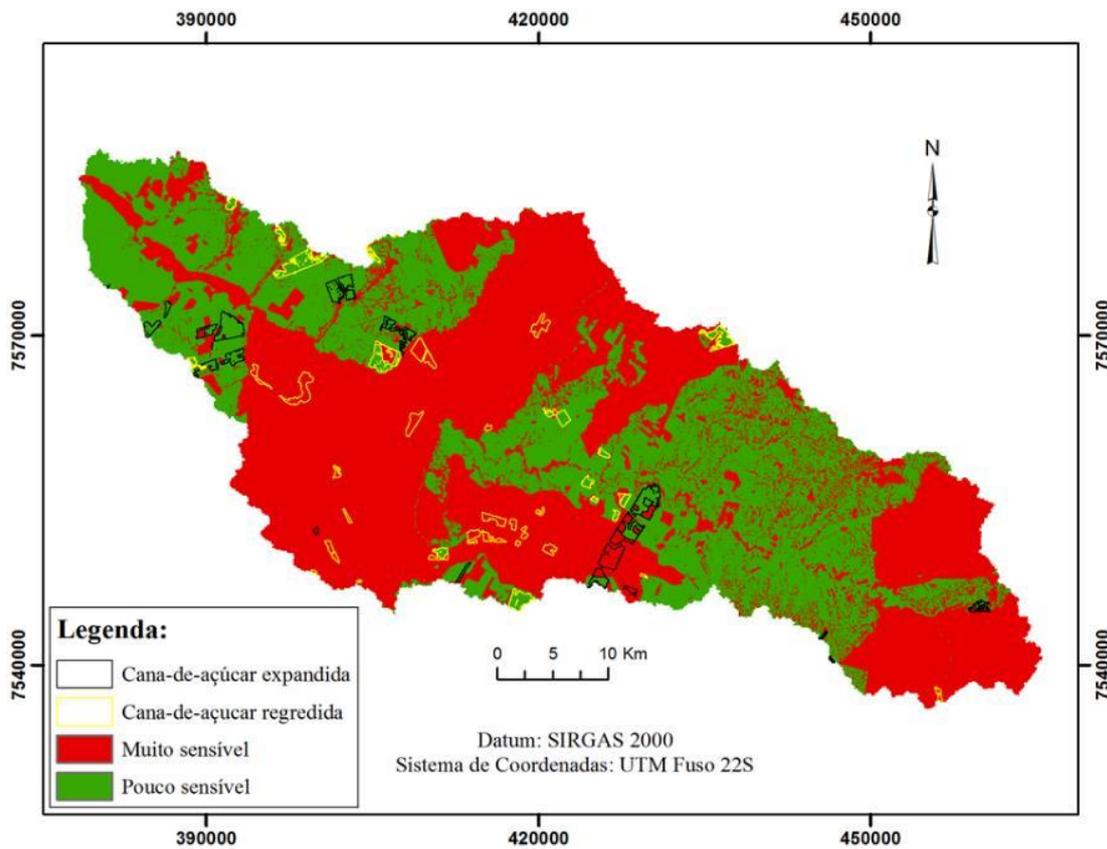


Figura 7. Regressão e expansão de cana-de-açúcar entre 2013 e 2015 em relação às áreas muito e pouco sensíveis

Tabela 4. Áreas de expansão e regressão de cana-de-açúcar entre 2013 e 2015 em relação às áreas muito e pouco sensíveis

Áreas (ha)	Expansão	Regressão	Total
Muito sensível	1098,33	1966,77	-868,44
Pouco sensível	2276,86	1854,45	422,41
<b>Total</b>	3375,19	3821,22	

A área total expandida (3.375,19 ha) foi menor que a área total regredida (3.821,22 ha), significando uma redução de 1,69% da área plantada com cana-de-açúcar. Porém, quando analisado separando entre as áreas pouco e muito sensíveis, a regressão sobre a área muito sensível foi de 864,44 ha. Já nas áreas pouco sensíveis ocorreu uma expansão da cultura de cana-de-açúcar de 422,41 ha.

Verificando estes dados, pode-se dizer que, mesmo que a regressão seja maior que a expansão do cultivo de cana-de-açúcar, ela ocorreu nas áreas muito sensíveis, enquanto a maioria da expansão deu-se em áreas pouco sensíveis.

Como a expansão do cultivo de cana-de-açúcar é de vital importância para as políticas energéticas brasileiras, a recomendação dada é de que a expansão desta produção deve ocorrer em direção às áreas pouco sensíveis da Figura 7, evitando declividades maiores de 12% para que os impactos negativos sejam minimizados. Ao mesmo tempo, deve-se incentivar uma fiscalização trabalhista mais rígida e um programa escolar em tempo integral para impedir os casos de trabalho infantil, e estipular um plano participativo sustentável de uso da terra com políticas de manejo e conservação da água e do solo, de incentivo à produção de alimentos orgânicos por pequenos agricultores em assentamentos rurais.

### Considerações finais

Esta metodologia se mostrou eficiente na análise a partir da abordagem de *Landscape Design*, pois ela é capaz de englobar dados oficiais que podem ser encontrados para quase todo o território nacional sem perder sua importância tanto em escala regional quanto local.

Por fim, esta pesquisa gerou resultados que, em mãos dos tomadores de decisão, se torna uma grande ferramenta no planejamento e na adequação do uso da terra visando sempre a sustentabilidade como a utopia base para que o ambiente e a sociedade possam desenvolver com o mínimo de impactos negativos

### Agradecimentos

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) pelo financiamento do projeto SustenAgro, no qual este trabalho está inserido.

### Referências

- Abson, D.J., Dougill, A.J., Stringer, L.C., 2012. Using Principal Component Analysis for information-rich socio-ecological vulnerability mapping in Southern Africa. *Applied Geography* 35, 515-524.
- ANA, Agência Nacional de Águas, 2015. Portal Metadados. Balanço hídrico qualitativo dos trechos de rio e microbacias do Brasil. Disponível: <http://www2.snirh.gov.br/home/webmap/viewer.html?webmap=a55ed154b9074872bb76ea8f7a871607>. Acesso: 06 abr. 2015.
- Blaschke, T., Biberacher, M., Gadocha, S., Schardinger, I., 2013. 'Energy landscapes': Meeting energy demands and human aspirations. *Biomass & Bioenergy* 55, 3-16.
- CANASAT, 2016. Monitoramento da Cana-de-açúcar. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Disponível: <http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/>. Acesso: 15 fev. 2016.
- Cobuloglu, H.I., Büyüktaktin, I.E., 2015. Food vs. biofuel: An optimization approach to the spatio-temporal analysis of land-use competition and environmental impacts. *Applied Energy* 140, 418-434.
- Dale, V.H., Kline, K.L., Kaffka, S.R., Langeveld, J.W.A., 2013. A landscape perspective on sustainability of agricultural systems. *Landscape Ecology*. DOI: 10.1007/s10980-012-9814-4.
- Dale, V.H., Kline, K.L., Buford, M.A., Volk, T.A., Smith, C.T., Stupak, I., 2016. Incorporating

- bioenergy into sustainable landscape designs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 1158-1171.
- Duvenage, I., Langston, C., Stringer, L.C., Dunstan, K., 2013 Grappling with biofuels in Zimbabwe: depriving or sustaining societal and environmental integrity? *Journal of Cleaner Production* 42, 132-140.
- Efroymsen, R.A., Dale, V.H., Kline, K.L., McBride, A.C., Bielicki, J.M., Smith, R.L., Parish, E.S., Schweizer, P.E., Shaw, D.M., 2013. Environmental indicators of biofuel sustainability: What about context? *Environmental Management* 51, 2, 291-306.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2009. Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar. Organização: Manzatto, C.V. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- Field, J. L., Marx, E., Easter, M., Adler, P. R. And Paustian, K., 2016. Ecosystem model parameterization and adaptation for sustainable cellulosic biofuel landscape design. *GCB Bioenergy* 8, 1106-1123.
- GADIS, Grupo de Pesquisa Gestão Ambiental e Dinâmica Socioespacial, 2016. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Disponível: <http://bacias.fct.unesp.br/gadis/>. Acesso: 01 mar. 2016.
- Gopalakrishnan G., Negri, M.C., Salas, W., 2013. Modeling biogeochemical impacts of bioenergy buffers with perennial grasses for a row-crop field in Illinois. *Global Change Biology Bioenergy* 4, 739-750.
- Holmgren, P., 2013. On Landscapes – Part 1: Why are landscapes important? CIFOR. Disponível: <http://blog.cifor.org/19702/on-landscapes-part-1-why-are-landscapes-important>. Acesso: 28 abr. 2015.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009: Despesas, rendimentos e condições de vida. Rio de Janeiro. Disponível: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pof/2008\\_2009/POFpublicacao.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pof/2008_2009/POFpublicacao.pdf). Acesso: 27 abr. 2015.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2014. Pesquisa de Informações Básicas Municipais (MUNIC): perfil dos municípios brasileiros - 2013. Rio de Janeiro. Disponível: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/2013/default.shtm>. Acesso: 27 abr. 2015.
- Joly, C.A., Verdade, L.M., Huntley, B.J., Dale, V.H., Mace, G., Muok, B., Ravindranath, N.H., 2016. Biofuel Impacts on Biodiversity and Ecosystem Services. In: Souza, G.M., Victoria, R.L., Joly, C.A., Verdade, L.M. (editores). *Bioenergy & Sustainability: bridging the gaps*. Paris: SCOPE.
- Machado, P.G., Rampazo, N.A.M., Picoli, M.C.A., Miranda, C.G., Duft, D.G., Jesus, K.R.E., 2017. Analysis of socioeconomic and environmental sensitivity of sugarcane cultivation using a Geographic Information System. *Land Use Policy* 69, 64 -74.
- MTE, Ministério do Trabalho e Emprego, 2015. Relação Anual de Informações Sociais (RAIS). Disponível: <http://bi.mte.gov.br/bgcaged/login.php>. Acesso: 20 abr. 2015.
- Nair, S.K., Hartley, D.S., Gardner, T.A., McNunn, G., Searcy, E.M., 2017. An Integrated Landscape Management Approach to Sustainable Bioenergy Production. *Bioenergy Research*, 10, 929.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration, 2016. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Disponível: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>. Acesso: 20 abr. 2016.
- Repórter Brasil, 2009. O Brasil dos Agrocombustíveis – Cana, 2009: Impacto das lavouras sobre a terra, o meio e a sociedade. Disponível: [http://reporterbrasil.org.br/documentos/o\\_brasil\\_dos\\_agrocombustiveis\\_v6.pdf](http://reporterbrasil.org.br/documentos/o_brasil_dos_agrocombustiveis_v6.pdf). Acesso: 09 mar. 2015.
- SMA-SP, Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo, 2008. Áreas de Proteção Ambiental (APA).
- Van Der Hilst, F., Van Eijck, J., Verstegen, J., Diogo, V., Batidzirai, B., Faaij, A., 2013. Impacts of Biofuel Production. Case studies: Mozambique, Argentina and Ukraine. Final Report. UNIDO. Disponível: [https://www.unido.org/fileadmin/user\\_media\\_upgrade/What we do/Topics/Energy access/BF Case Studies FINAL REPORT PRIN](https://www.unido.org/fileadmin/user_media_upgrade/What_we_do/Topics/Energy_access/BF_Case_Studies_FINAL_REPORT_PRIN)

[T and WEB 20022014.pdf](#) . Acesso: 09 mar. 2015.

Zhang, J., Osmani, A., Awudu, I., Gonela, V., 2013. An integrated optimization model for switchgrass-based bioethanol supply chain. *Applied Energy* 102, 1205-1217.

Walter, A., Galdos, M.V., Scarpore, F.V., Leal, M.R.L.V., Seabra, J.E.A., Cunha, M.P., Picoli, M.C., Oliveira, C.O.F., 2014. Brazilian sugarcane ethanol: Developments so far and challenges for the future. *WIREs Energy Environmental* 3, 70-92.