



## **A RELAÇÃO ENTRE O MEIO FÍSICO E O AVANÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO NOROESTE DO PARANÁ, ABORDAGEM COM TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

### **THE RELATION BETWEEN PHYSICAL ASPECTS AND THE EXPANSION OF SUGAR-CANE IN NORTHWEST PARANA STATE (BRAZIL), APPROUCH FROM GEOPROCESSING TECHNIQUES**

Otávio Cristiano Montanher  
otaviocmontanher@yahoo.com.br

Édipo Henrique Cremon  
Edvard Elias de Souza Filho

Universidade Estadual de Maringá – Departamento de Geografia  
GEMA – Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente

#### **RESUMO**

Este trabalho tem por objetivo a análise da relação entre o avanço da cana-de-açúcar e as características do meio físico do noroeste paranaense, nos anos de 1985 e 2009. A identificação dos lotes de cana-de-açúcar foi realizada a partir da interpretação de imagens Landsat 5, através de técnicas de sensoriamento remoto. Foram mapeados 943 Km<sup>2</sup> de cana-de-açúcar no ano de 1985, e 6.177 Km<sup>2</sup> no ano de 2009. Estas informações foram relacionadas com a geologia, declividade, degradação de terras, aptidão do solo e risco de geadas. Foi identificado que a área ocupada por cana-de-açúcar aumentou em todas as classes, mas o cultivo avançou preferencialmente sobre áreas com maior degradação, com menor aptidão agrícola e sobre a Formação Caiuá, em detrimento das áreas menos degradadas, com melhor aptidão agrícola, e sobre outras formações, principalmente a Formação Serra Geral. O risco de geadas não se apresentou como controlador da distribuição dos canaviais nesta área de estudo.

**Palavras-chave:** Cana-de-Açúcar, geoprocessamento, sensoriamento remoto, noroeste do Estado do Paraná.

#### **ABSTRACT**

This article aims to analyze the relationship between the advance of sugar cane and the physical characteristics of the northwest Paraná's state (Brazil), in 1985 and 2009. The identification of sugar-cane was made from the interpretation of LANDSAT 5 images, through remote sensing techniques. It was mapped 943 square kilometers of sugar-cane in 1985, and 6177 square kilometers for the year 2009. This information was related to the topics of geology, slope, land degradation, soil ability and risk of frost. It was found that the area occupied by sugar-cane increased in all classes, but the culture progressed preferably over areas with greater degradation, with lower agricultural potential and the Caiuá Formation (sandstones), at the expense of less degraded areas with better agricultural potential and on other geologic formations, particularly the Serra Geral Formation (basalts). The risk of frost did not appear as controller of the distribution of sugar-cane in this area of study.

**Keywords:** Sugar-Cane, geoprocessing, remote sensing, northwest Paraná State.

## 1. INTRODUÇÃO

Devido à importância econômica que a cultura da cana-de-açúcar tem ganhado com a expansão do consumo de seus derivados, notadamente o álcool, com políticas de apoio à produção deste combustível (Paczyk, 2009), grandes áreas agrícolas estão passando por um processo de mudança em suas atividades. Como as transformações no campo refletem diretamente nas atividades econômicas e sociais de uma determinada sociedade, o monitoramento e a análise de tais fenômenos possui grande importância. A região noroeste do Paraná está passando por este processo, com o abandono de pastagens e outras culturas temporárias para o plantio de canaviais. A reorganização deste espaço agrário possui forte relação com incentivos econômicos de mercado e políticos, principalmente pelo programa Pró-Álcool (Shikida, 2001).

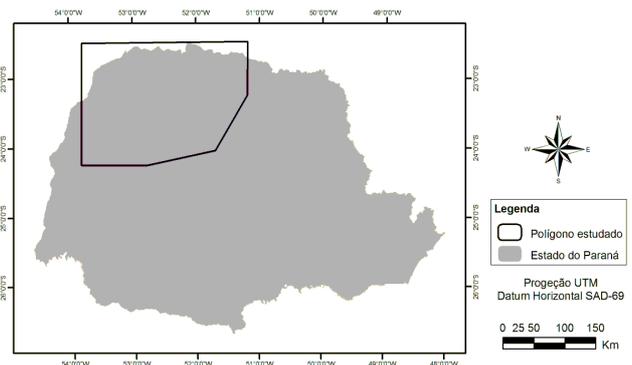
Relevantes trabalhos já foram realizados a partir da temática do avanço da agroindústria canieira no Estado do Paraná, analisando os fatores econômicos e estruturais envolvidos (Shikida, 2001), fatores políticos (Guerra, 1995), fatores sociais (Alves, 2006), levantamentos apenas quantitativos de área cultivada (projeto Canasat, que realiza levantamentos na área desde 2005) e em relação à mudança de uso do solo (Gusso et. al. 2009, Nassar *et.al.*, 2008). No entanto, nenhum destes trabalhos analisou a distribuição do avanço desta cultura, sob a ótica das características do meio físico que interferem nas condições de uso agrícola do solo.

Ou seja, enquanto discutem-se as questões sócio-econômicas envolvidas neste processo de reorganização do espaço agrário paranaense, também é válida a discussão se a distribuição deste avanço ocorre de forma aleatória no espaço, ou se existem características do meio físico que condicionam esta distribuição do cultivo. A partir desta concepção, este trabalho tem por objetivo avaliar a distribuição espacial e o avanço da cana-de-açúcar ao longo do tempo em relação às características físicas do noroeste paranaense, partindo-se da premissa de que a distribuição e

avanço das áreas ocupadas por cana-de-açúcar nessa região não são aleatórias, sendo condicionada com mais ou menos intensidade por algumas características do meio físico relevantes em áreas agrícolas. Vale destacar que não foi considerado como “noroeste do Paraná” a demarcação política dessa área.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para análise da distribuição espacial da cana-de-açúcar em relação aos temas físicos, foi definido um polígono que abrangesse as unidades mapeadas em grande parte do noroeste paranaense, delimitando-se a área do estudo, conforme figura 1.



**Figura 1** - Mapa de localização, com o polígono da área de estudo

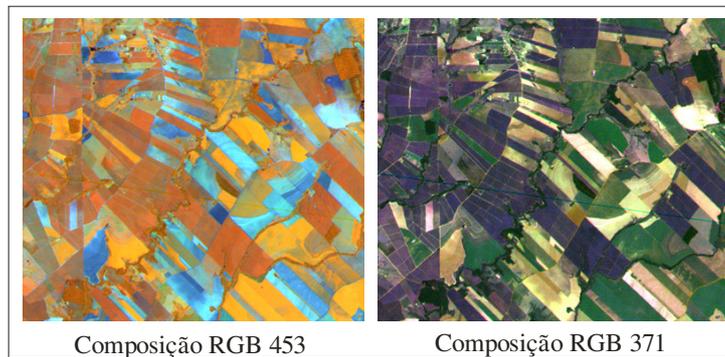
Uma imagem de satélite registra as condições atmosféricas e a resposta espectral de determinados alvos localizados no tempo e no espaço (Jensen, 2009). Quando se trabalha com estudos multitemporais, a comparação entre imagens históricas e atuais apresenta-se como uma importante ferramenta de análise (Mccoy, 2005 apud Jensen, 2009). Os produtos do satélite Landsat 5, são um dos principais materiais disponíveis para trabalhos multitemporais, devido ao fácil acesso e ao intervalo temporal de imageamento, cujo início se dá a partir de 1985 até a atualidade.

As imagens dos anos de 1985 e 2009 foram selecionadas a partir da verificação de quais imagens orbitais em boas condições de trabalho existiam disponíveis, visando o maior

intervalo temporal possível. As cenas utilizadas foram: Órbita Ponto 222/76: 1985-23-07 e 2009-20-04, Órbita Ponto 223/76: 2009-22-02 e 1985-24-03, Órbita Ponto: 223/77: 1985-09-04 e 2009-11-04, disponibilizadas pelo Inpe (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) <dgi.inpe.br>.

O mapeamento das áreas cultivadas por culturas canavieiras nos anos de 1985 e 2009, foi realizado a partir da composição RGB 371, sensor TM, que possibilita uma boa diferenciação

da cultura canavieira de outros alvos superficiais comumente encontrados na área. A Figura 2 apresenta a comparação entre a composição falsa-cor utilizada neste trabalho e a composição RGB 453 utilizada no projeto Canasat <dsr.inpe.br/mapdsr/data/artigos/2003.pdf> para interpretação das imagens.



**Figura 2** - Quadro comparativo entre as composições RGB 371 e RGB 453.

Na composição RGB 453, a cana-de-açúcar encontra-se em tons alaranjados, assim como outras culturas temporárias, como soja e o milho, diferenciando-se apenas do solo exposto (apresentado em tons de azul). Na composição RGB 371 a cana-de-açúcar encontra-se em tons de roxo escuro, em contraste com as culturas temporárias (tons de verde) e solo exposto (tons amarelos a marrons).

Embora as bandas 1, 3 e 7, não sejam as que apresentam as maiores variações de valores de reflectância para os objetos em questão, como os valores encontrados nas bandas 4 e 5 (Ponzoni, 2007), esta composição apresentou um grande potencial para interpretação visual, pois a combinação dos tons coloridos (RGB), ressalta os canaviais em tons de roxo, enquanto outras culturas apresentam-se em tons de verde. Já na composição RGB 453 utilizando as bandas 4 e 5, os canaviais permanecem em tons alaranjados, assim como o restante dos alvos, gerando dificuldades na distinção dos alvos.

Como pode ser observado na Figura 2, a composição RGB 371 permite uma melhor diferenciação entre a cana-de-açúcar e outros objetos em relação à composição RGB 453, pois melhora a diferenciação dos elementos primários de interpretação como a cor e o tom (Jensen, 2009).

A identificação das unidades de cana-de-açúcar nas imagens multiespectrais foi realizada a partir dos elementos de interpretação de imagens primários, secundários, terciários e superiores, e algumas considerações sobre as características:

sítio, situação e associação, dos componentes de forma conjunta (Jensen, 2009). Gusso et. al.(2009) utilizaram séries temporais do EVI/MODIS, obtido de imagens do satélite Terra para identificar alterações decorrentes da expansão do cultivo da cana-de-açúcar sobre áreas agrícolas e de pasto no noroeste

paranaense, obtendo respostas adequadas para grandes áreas devido à alta resolução espectral do sensor, porém, a baixa resolução espacial (250 metros) não é compatível com a ocorrência de lotes canavieiros de aproximadamente 30 metros de largura, comumente encontrados na área de estudo. Por este motivo justifica-se a utilização do sensor TM-Landsat 5.

Foi elaborado um banco de dados em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) contendo arquivos vetoriais no formato *shapefile* sobre características do meio físico do estado do Paraná, onde foram utilizadas informações de Aptidão do Solo e Degradação de Terras, disponibilizados pelo Instituto de Terras, Cartografia e Geodésia (ITCG).

O primeiro é oriundo dos trabalhos realizados pelo Iparde (Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social), onde as classes de mapeamento de aptidão para a área do estudo são: bom, regular – erosão, regular – erosão e fertilidade, regular – fertilidade, regular – excesso hídrico, restrito – erosão, inapto – excesso hídrico e inapto erosão. Já o tema de degradação possui as classes: Forte, Média e Fraca. Estas bases possuem dados qualitativos sobre a área de estudo, e foram adotadas porque demonstram características importantes para proposta deste trabalho, como por exemplo, a distinção entre áreas com maior e menor degradação do solo, e áreas com maior ou menor aptidão em relação aos processos erosivos.

Também foi utilizada a base de dados sobre a geologia da região, elaborada pela Mineropar (Minerais do Paraná S.A.). Na área de estudo ocorre a Formação Caiuá (Cretáceo - Kc), a Formação Serra Geral (Juro-Cretáceo - JKsg), a Formação Santo Anastácio (Cretáceo superior - Ksa), Formação Adamantina (Cretáceo superior - Ka), Colúvios (Quaternário - Qc) e Aluviões (Quaternário - Qal). A litologia de uma área influencia diversas características do meio físico, importantes na análise de uma área

agrícola. Por exemplo: as características físico-químicas de uma determinada rocha influenciam diretamente na textura, estrutura e resistência de um solo aos processos erosivos, e composição química de um solo em relação à sua fertilidade.

Outro dado analisado foi a declividade do terreno, obtidos por meio dos dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), versão 4 (Jarvis et al, 2008). Estes por estarem dispostos em formato matricial de Modelo Digital de Elevação (MDE), possibilitam a obtenção de variáveis geomorfométricas com agilidade em ambiente SIG. Sendo assim, através do ArcGIS 9.2, com a ferramenta *Spatial Analyst*, foi obtido a declividade da área estudada em porcentagem, com intervalos adaptados de Embrapa (1999) com as classes em porcentagem variando de 0-3, 3-8, 8-20, 20-45 e maior que 45 %. Fatiado os intervalos, os dados foram convertidos em formato vetorial (*shapefile*) para cruzamento com os dados relativos ao mapeamento das áreas ocupadas por cana-de-açúcar. O tema declividade foi analisado partindo-se do fato de que terrenos com maior declividade possuem maior dificuldade de mecanização e são mais sensíveis em relação ao escoamento superficial, pois sob as mesmas condições de manejo, áreas com maior declividade são mais expostas ao escoamento superficial do que áreas com menor declividade. Terrenos com menor declividade possuem maiores facilidades de mecanização e cultivo, chegando em alguns pontos à ser determinantes na escolha do cultivo.

O dado climático analisado foi o risco de geada, pois sua ocorrência é capaz de causar danos à cana-de-açúcar (Wrege et. al., 2005). Os autores ao mapearem as regiões potenciais para cultivo da cana-de-açúcar no Paraná, levaram em consideração apenas a ocorrência de geadas, definiram que as regiões aptas para o cultivo da cana-de-açúcar são aquelas com risco de geadas

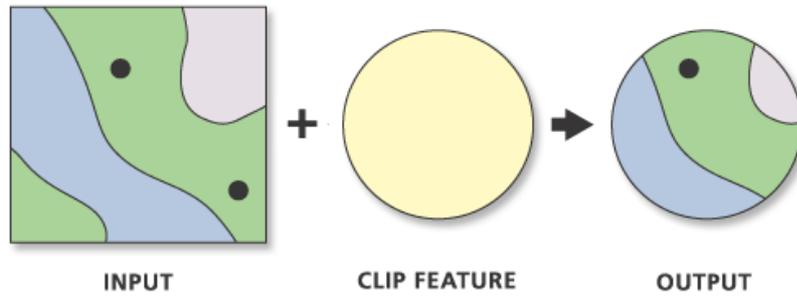
inferior a 10%. Como o polígono estudado abrange mais classes de risco de geada no mês de julho (mês com maior probabilidade de ocorrência), esta variável foi adotada, utilizando a base cartográfica de Wrege et al., 2005.

Baseando-se nesses princípios, as áreas de canaviais identificadas por interpretação visual, foram vetorizadas em formato *shapefile*, através da ferramenta *Editor* do ArcGIS 9.2. Com os dados finalizados em formato vetorial, os mapeamentos dos canaviais foram recortados para cada classe dos temas ambientais anteriormente citados, sendo possível obter a área de cana-de-açúcar cultivada dentro de cada classe do tema avaliado. Por exemplo, verificar apenas a presença de canaviais na região correspondente à classe de arenitos da Formação Caiuá. Para isso, foi utilizada a ferramenta *Analysis Tools > Extract > Clip*, cuja figura 3 demonstra esquematicamente sua funcionalidade. Para a quantificação das áreas dos vetores analisados, foi utilizada a ferramenta *XTools*, onde foram obtidos valores em km<sup>2</sup> e hectares. Após esta aquisição e tratamento de dados, estes foram organizados em tabelas e gráficos.

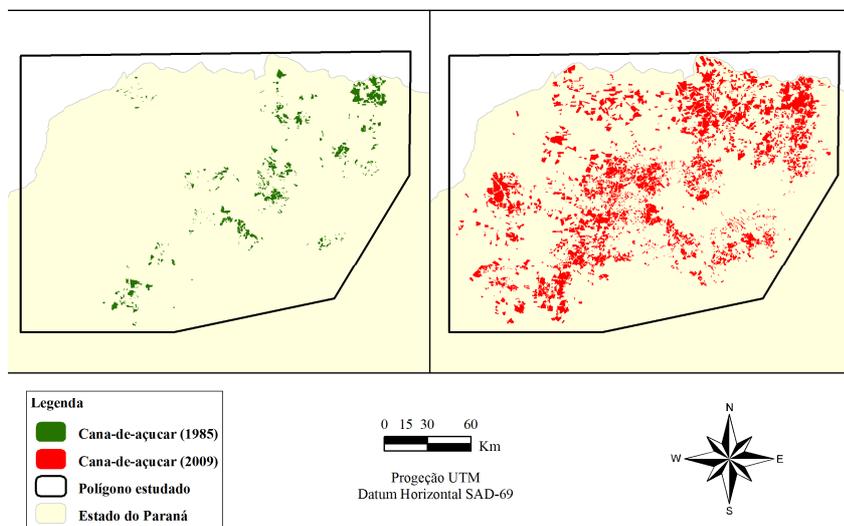
### 3. RESULTADOS

A distribuição espacial dos canaviais no noroeste do Paraná pode ser observada na figura 4, e a tabela 1 apresenta os dados relacionados ao mapeamento das unidades de plantio, para os anos de 1985 e 2009.

Para apresentação dos dados obtidos através do cruzamento dos dados vetoriais, foram montadas tabelas para cada tema com a área e porcentagem de cada classe com relação à área total, sua distribuição para os anos de 1985 e 2009, e dados relativos ao aumento em km<sup>2</sup> e porcentagem (aumento em relação à área inicial). A tabela 2 apresenta dados relacionados à geologia.



**Figura 3** - Esquema ilustrativo da ferramenta *Clip* no ArcGIS 9.2. (ESRI, 2006).



**Figura 4** - Mapa com as áreas ocupadas pelo cultivo da cana-de-açúcar nos anos de 1985 e 2009.

**Tabela 1**- Dados relativos à expansão da cultura canieira na área de estudo, nos anos de 1985 e 2009.

ANO	1985	2009
Área total (km <sup>2</sup> )	943,66	6177,66
Aumento (km <sup>2</sup> )	5234	
Aumento (%)	555 %	

**Tabela 2** - Dados relacionados às classes Geologia.

Geologia	Área das Classes		1985		2009		Aumento	
	Área (km <sup>2</sup> )	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Formação Serra Geral	15.359,52	36,56	489,53	51,92	1598,13	25,88	1108,6	226
Formação Caiuá	22.526,05	53,63	292,08	30,98	3775,6	61,13	3483,52	1192
Formação Santo Anastácio	1718,94	4,09	122,26	12,96	619,76	10,03	497,5	406
Formação Adamantina	271,91	0,64	18,11	1,92	93,66	1,51	75,55	417
Colúvios	239,96	0,57	21,02	2,22	89,85	1,45	68,83	327
Aluviões	1898,63	4,51	0	0	0	0	0	0
Total	42015,01	100	943	100	6177	100	5234	-

A partir dos dados apresentados, é possível reconhecer que apesar da classe Formação Serra Geral ocupar 36,56% da área analisada no ano de 1985, 51,92% da área cultivada encontrava-se nesta classe. Já para o ano de 2009 houve aumento do cultivo nesta classe (226%), porém, sua ocupação relativa diminuiu para 25,88% do total.

Para as classes: Formação Santo Anastácio, Formação Adamantina e Colúvios que juntas somam 5,3% do total, constatou-se um aumento de 383% em média, mas não houve alterações expressivas em relação à sua porcentagem relativa às áreas de canaviais, com tendência à diminuição.

A classe Formação Caiuá foi a que apresentou o maior aumento, tanto em relação à área ocupada, quanto à porcentagem relativa. Enquanto esta classe ocupa 53,63% da área estudada em 1985, 30,98% dos canaviais ocupavam esta classe; já em 2009 esta porcentagem subiu para 61,13%. A classe Aluviões ocupa 4,51 % da área total, mas não foram encontrados cultivos de cana-de-açúcar nesta classe.

Os dados de declividade do terreno também foram analisados, a unidade de medida adotada para esse parâmetro geomorfométrico é a porcentagem (%). A Tabela 3 apresenta dados relacionados ao tema:

**Tabela 3** - Dados relacionados às classes do tema “Declividade”.

Declividade (%)	Área das Classes		1985		2009		Aumento	
	(Km <sup>2</sup> )	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
0-3	6799,16	16,18	153	16,22	806,58	13,06	653,58	427
3-8	26135,95	62,21	662,97	70,3	4394,1	71,14	3731,13	562
8-20	8705,04	20,71	127	13,45	972,02	15,73	845,02	665
20-45	374,29	0,9	0,03	0,03	4,3	0,07	4,27	1423
> 45	0,57	0	0	0	0	0	0	0
Total	42015,01	100	943	100	6177	100	5234	-

Os dados relativos à declividade na área de estudo demonstram que a cana-de-açúcar está distribuída relativamente de forma semelhante à distribuição da área total das classes, e não houve significativa alteração entre as datas analisadas. Porém, pode-se observar leve tendência de aumento de ocupação das classes com maior declividade (8-20 e 20-45), muito embora a classe >45 não registre ocorrência em nenhuma situação.

Para os dados de Degradação de Terras, os resultados obtidos estão apresentados na Tabela.

Os dados apresentados sobre degradação de terras apresentam forte evidência do avanço da cultura canavieira sobre locais relativamente mais degradados, (classes “Média” e “Forte”). Enquanto a

porcentagem relativa dos canaviais na classe “Fracá” diminuiu de 82,39% em 1985 para 66,79% em 2009, as outras duas classes registraram aumento da porcentagem de ocorrência em lotes canavieiros. A Tabela 5 apresenta dados relacionados ao tema “Aptidão do Solo”.

**Tabela 4** - Distribuição da área ocupada por canaviais para as classes de declividade, nos anos de 1985 e 2009.

Degradação	Área das Classes		1985		2009		Aumento	
	(Km <sup>2</sup> )	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Fraca	25235,21	60,06	776,91	82,39	4125,12	66,79	3348,21	430
Média	9235,91	21,98	110,27	11,7	1429,89	23,15	1319,62	1196
Forte	6727,72	16,03	55,82	5,91	621,99	10,06	566,17	1014
Cidade	159,64	0,37	0	0	0	0	0	0
Rios	656,53	1,56	0	0	0	0	0	0
Total	42015,01	100	943	100	6177	100	5234	-

**Tabela 5** - Área total das classes de Aptidão do solo para a área de estudo.

Aptidão do Solo	Área das Classes		1985		2009		Aumento	
	(Km <sup>2</sup> )	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Bom	22268,06	53,2	759,5	79,34	3679,91	59,56	2920,41	384
Regular (erosão)	9321,65	22	129,5	13,53	1530,33	24,77	1400,83	1081
Regular (erosão e fertilidade)	158,04	0,37	0,11	0,01	4,75	0,07	4,64	4218
Regular (fertilidade)	1770,2	4,21	18,2	1,73	308,01	4,98	289,81	1592
Regular (excesso hídrico)	650,82	1,54	0	0	0	0	0	0
Restrito (erosão)	7,41	0,02	3,7	0,39	4	0,06	0,3	8
Inapto (erosão)	6611,91	15,74	48,14	5	650	10,56	601,86	1250
Inapto (excesso hídrico)	291,03	0,7	0	0	0	0	0	0
Corpo d'água	683,52	1,62	0	0	0	0	0	0
Áreas urbanas	252,36	0,6	0	0	0	0	0	0
Total	42015,01	100	943	100	6177	100	5234	-

Os dados apresentados sobre a Aptidão do Solo em 2009, e aumento da ocupação nas demais classes permitem verificar a diminuição relativa da ocupação por canaviais em áreas da classe “Bom”, de 79,34% em 1985 para 59,56% em 2009. Por fim, a Tabela 6 apresenta os dados relacionados ao tema “risco de geadas”:

**Tabela 6** - Distribuição da área ocupada por canaviais para as classes de risco de geadas, nos anos de 1985 e 2009.

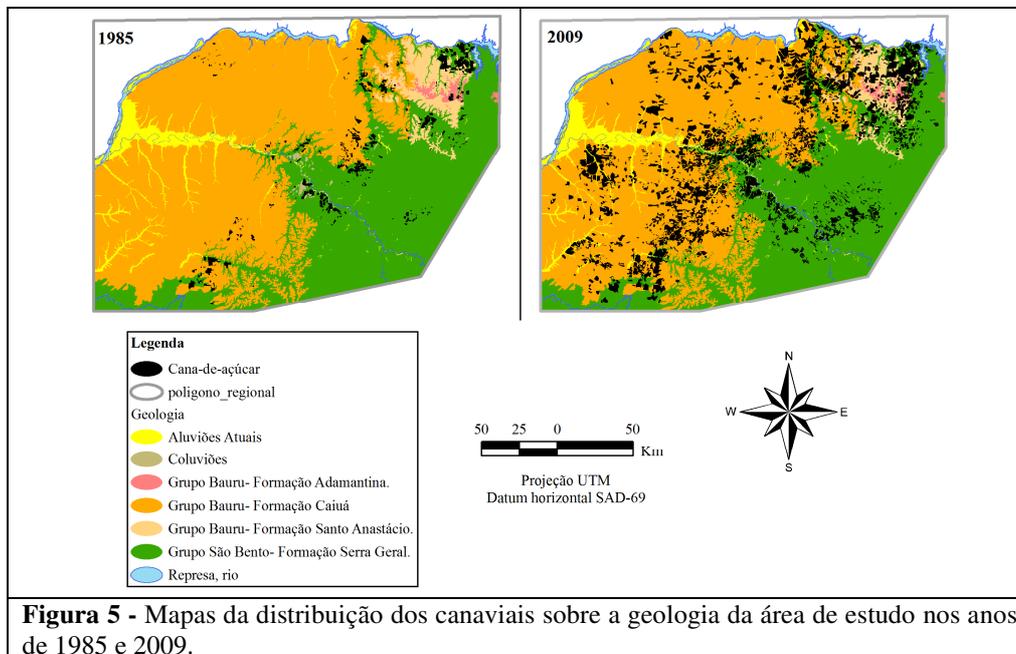
Risco de Geadas	Área das Classes		1985		2009		Aumento	
	(Km <sup>2</sup> )	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
< 10%	34389	81,86	865,68	91,8	5690	92,11	4824,32	92,17
10 – 20%	7362,65	17,52	77,32	8,2	487	7,89	409,68	7,83
20 – 30%	263,45	0,62	0	0	0	0	0	0
Total	42015,1	100	943	100	6177	100	5234	-

Os dados relativos ao tema “risco de geadas” demonstram uma pequena variação do ano de 1985 para o ano de 2009, com uma forte concentração das áreas canavieiras na classe < 10%, indicada por Wrege et. al., 2005, como ideal para o plantio da cana-de-açúcar. A comparação entre os valores totais de cada classe, e sua ocupação em cada ano analisado permite confirmar esta análise, de forma que não existe ocupação na classe de risco de geadas de 20 – 30%, e na classe de 10 – 20%, enquanto ocupa 17,52% da área em estudo, a ocupação por canaviais permanece por volta de 8%.

#### 4. DISCUSSÕES

Conforme apresentado na tabela 1, o aumento percentual geral para as unidades canavieiras foi de 555%, contudo, ao detalhar a análise para as diversas classes dos temas avaliados, observa-se uma grande variabilidade deste comportamento, como demonstrado pelas tabelas 2, 3, 4, 5 e 6.

A distribuição dos canaviais em função da geologia da área está representada na figura 5:



**Figura 5** - Mapas da distribuição dos canaviais sobre a geologia da área de estudo nos anos de 1985 e 2009.

Apesar de a classe aluviões ocupar 4,51% da área de estudo, não foram encontrados canaviais nesta classe. Este fenômeno é explicado pelo fato de que estas áreas são susceptíveis à inundação, e frequentemente permanecem sob condições saturadas, inviabilizando a mecanização e produção da cana-de-açúcar.

Conforme apresentado na figura 4 e na tabela 2, a distribuição espacial dos canaviais em 1985 está concentrada principalmente na área de contato entre a Formação Caiuá e a Formação Serra Geral e também sobre as Formações

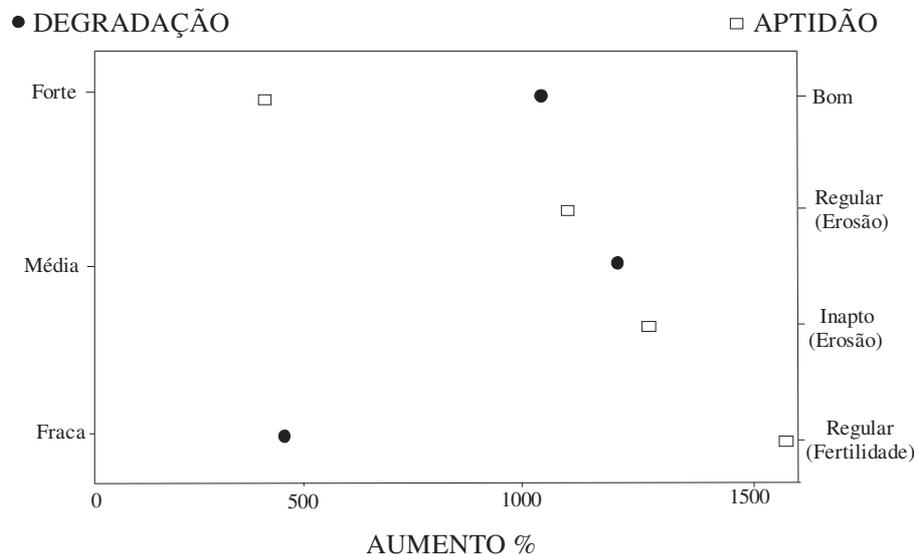
Adamantina, Santo Anastácio e Colúvios. No ano de 2009, a cultura canavieira expande-se principalmente para áreas de predominância arenosa, sobretudo a Formação Caiuá. O aumento da cultura ocorreu em todas as classes de geologia, entretanto, na Formação Serra Geral o aumento foi de 226%, apresentando a menor relação de aumento entre todas as classes, enquanto, para a Formação Caiuá, o aumento foi de 1192%.

Esta constatação vem a ser confrontante à exposição de Serra (2009), que afirma que

primeiramente as lavouras de cana se devolveram sobre a Formação Caiuá e posteriormente avançam para as áreas de contato arenito/basalto, e pelos dados aqui apresentados, constata-se que o processo foi inverso, ou seja, primeiramente a cana-de-açúcar se desenvolveu nas áreas de contato Arenitos/Basalto para posteriormente predominar nas áreas areníticas.

Como as áreas da Formação Caiuá apresentam maior susceptibilidade aos processos erosivos e degradantes (Nakashima, 1999) em relação às outras áreas mencionadas, o avanço canavieiro sobre esta unidade geológica também conduz aumento preferencial sobre áreas mais

degradadas (degradação forte e média) e com menor aptidão do solo (áreas regulares e Inaptas por erosão). O arenito Caiuá foi primeiramente descrito por Washburne (1930). Embora possua fácies variadas, esta rocha sedimentar foi formada principalmente pela ação eólica em ambiente árido, possui coloração avermelhada, com o quartzo como principal mineral ocorrente. Sua composição é essencialmente arenosa, com principal intervalo granulométrico entre 0,25 e 1,6 mm de diâmetro. A Figura 6 demonstra a relação entre os dados de aptidão do solo e degradação de terras com o aumento percentual de suas classes:



**Figura 6** - Representação gráfica dos temas “Degradação de Terras” e “Aptidão do solo”. O “aumento %” representa o valor percentual do aumento de cada classe, do ano de 1985 para 2009, em relação à sua área no ano de 1985 (tabelas 4 e 5).

A partir da Figura 6 observa-se que existe uma relação inversa entre degradação e aptidão do solo, de forma que os maiores valores de aumento ocorreram em áreas mais degradadas (principalmente na classe “média”) para o tema “degradação”, e em áreas com menor aptidão agrícola, ou seja, enquanto existe o aumento preferencial em áreas mais degradadas, estas avançam sobre áreas com menor aptidão do solo.

Os dados de declividade também demonstram um avanço sobre áreas mais degradadas, existindo uma leve tendência de avanço canavieiro para áreas com maior

declividade (classes: 3-8%, 8-20% e 20-45%). Como estas áreas são mais susceptíveis aos processos erosivos, pois oferecem maior energia potencial ao escoamento superficial, são normalmente mais afetadas pelos processos degradantes em relação às áreas com menor declividade.

Dados apresentados pela Alcopar (Associação de Produtores de Bioenergia do Paraná), <alcopar.org.br>, demonstram o aumento da produtividade, da safra de 1991/92 de 63,45 ton/ha para 80,69 ton/ha na safra de 2008/09. Este dado é muito contrastante em

relação à característica do terreno em que esta cultura está avançando. Como demonstrado anteriormente, as áreas preferenciais de avanço (de 1985 para 2009) são com maior degradação, com menor aptidão agrícola e com maior declividade, mas a produtividade aumentou para período semelhante; logo, esta afirmação leva a uma nova condição de reflexão, que possivelmente está relacionada com a demanda de consumo para os derivados da cana-de-açúcar levando à melhoria das tecnologias de plantio. Questões como estas devem ser analisadas sob a ótica de explicações de cunho agrícola, agrários, econômicos e sociais, conforme já discutido por Shikida (2001), mas que não são objetivos deste trabalho, porém, estes dados podem subsidiar novas discussões.

O risco de geadas é uma importante característica climática de uma área, em relação à sua aptidão para cana-de-açúcar, sendo a classe < 10% ideal para o cultivo. Para o estado do Paraná, pode-se observar uma boa correlação entre a distribuição da cana-de-açúcar e as classes até 30% de risco de geadas, Wrege et. al., (2005), porém analisando seu controle na área de estudo, em relação ao avanço deste cultivo, não se observou forte variação dos dados, e se existente, estão vinculados à alteração das outras variáveis temáticas.

## 5. CONCLUSÕES

As técnicas de sensoriamento remoto utilizadas para identificação e mapeamento da cana-de-açúcar, e as técnicas de geoprocessamento utilizadas para o cruzamento das diversas informações sob o formato vetorial *shapefile* permitiram o alcance dos objetivos propostos. O universo de dados para esta área pode ser expandido, detalhando a escala temporal de análise, realizando-se a interpretação e vetorização de novas imagens, porém, este é um trabalho exaustivo e demorado por se tratar de uma grande área de estudo, conforme já conferido por Nassar et. al. (2008).

Esta metodologia de análise de áreas canavieiras mostrou-se uma interessante ferramenta de estudo, apresentando tendências

no processo de avanço de áreas do cultivo. Apesar de ter sido utilizada para o Noroeste Paranaense, esta forma de análise pode ser extrapolada para qualquer região agrícola que contenha imagens multitemporais e informações sobre o meio físico. Outros dados podem ser adicionados nesta análise, por exemplo: cartas pedológicas, de fragilidade ambiental, de perda de solos, etc, dependendo do objetivo da análise, e da disponibilidade de informações.

Os dados demonstraram que a cultura canavieira avançou na maioria das classes de todos os temas, a não ser em áreas urbanas, corpos hídricos, áreas inaptas e regulares por excesso hídrico, áreas com declividade superior a > 45% e em áreas com risco de geadas entre 20 e 30%, que não apresentam nenhuma ocupação por cana-de-açúcar. Apesar desta tendência de aumento para a maioria das classes, não são iguais proporcionalmente, corroborando com a hipótese de estudo. A diminuição relativa da cana-de-açúcar nas áreas de basalto reflete o avanço desta cultura para as áreas de solos mais arenosos e degradados, como pode ser observado o comportamento das outras classes de geologia (Formações: Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Colúvios), e das classes de degradação e aptidão do solo.

As características do meio físico da área analisada apresentam, em linhas gerais, boas condições para o cultivo da cana-de-açúcar, representada pela extensão das classes de baixa degradação, boa aptidão do solo, poucas áreas com altas declividades, e com risco de geadas acima de 10%. Apesar disto, os dados permitem concluir que a cana-de-açúcar avançou para áreas mais degradadas, com problemas principalmente relacionados à erosão, do ano de 1985 para o ano de 2009, porém, conforme dados apresentados pela Alcopar, aumentou-se a produtividade para período semelhante. Desta forma, analisando-se a produtividade agrícola, tem-se um melhor aproveitamento econômico da área mencionada, pois houve um aumento da produtividade em terrenos menos favoráveis à produção. Porém, esta afirmação deve ser ressaltada em dois pontos: a) Este aumento da produtividade esta sendo favorável a população

local de forma geral? Ou para um grupo econômico restrito? b) Os aumentos da área cultivada, e da intensidade da produção de cana-de-açúcar, estão exercendo impactos ambientais sobre os solos derivados do Arenito Caiuá acima do que é permitido pela legislação brasileira? Os dados fornecidos por este artigo podem posteriormente suportar estudos para responder estas questões.

Os temas qualitativos “degradação de terras” e “aptidão do solo” que são em grande parte influenciados pelos temas “geologia” e “declividade”, apresentaram-se como importantes características do meio físico em relação ao controle da distribuição do avanço da cana-de-açúcar no noroeste do Paraná, apresentando forte variação dos dados quantitativos analisados, mas o tema “risco de geadas” não demonstrou controle nesta distribuição, o que fortalece a pressuposição de que a cana-de-açúcar avançou do ano de 1985 para o ano de 2009 para áreas mais degradadas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, F. 2006. Por que Morrem os Cortadores de Cana? Saúde e Sociedade. São Paulo, v.15, n.3, p.90-98.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. 1999. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 412p.
- Esri. 2006. ArcGIS Desktop 9.2 Guides Book.
- Guerra, N. A. M. 1995. O Pró-álcool e as Transformações no Espaço Agrícola do Paraná. Economia em Revista. Maringá, V.4 n.2 p.81-95.
- Gusso, A. Adami M. Silva, W. F. da, Aguiar, D. A. de, Rudorff, B. F. T. 2009. Aplicação de séries temporais EVI/MODIS na identificação do uso e ocupação do solo anterior ao cultivo da cana-de-açúcar. Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5851-5856.
- Jensen, J. 2009. Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres: tradução: EIPHANIO J. C. N. (coordenador)... (et. al.). 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 598 pág.
- Jarvis, A. Reuter, H. I. Nelson, A. E. Guevara, E. Hole-filled SRTM for the globe Version 4, 2008. Disponível na base de dados CGIAR-CSI SRTM 90m em < <http://srtm.csi.cgiar.org> >.
- Mccooy, R. M. 2005. Field Methods in Remote Sensing. Nova York. Guilford Press, 159 p.
- Nakashima, P. 1999. Sistemas Pedológicos da Região Noroeste do Estado do Paraná: Distribuição e Subsídios para o Controle da Erosão. Tese (Doutorado em Geografia Física). Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Nassar, A. M. Rudorff, B. F. T. Antoniazzi, L. B. Aguiar, D. A. de, Bacchi, M. R. P. Adami, M. 2008. Prospects of the Sugarcane Expansion in Brazil: Impacts on Direct and Indirect Land Use Allocation and Changes. In: Peter Zuurbier, Peter; de Vooren, Jos van (eds). Sugarcane Ethanol. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, cap. 3, p. 63-93.
- Paczyk, R. 2009. Setor Sucroalcooleiro Paranaense: do Proálcool ao Biodiesel. Vitrine da Conjuntura, Curitiba v.2 n.6, p. 1-6, ago.
- Ponzoni, F J. Yosio E. S. 2007. Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. São José dos Campos: A. Silva Vieira, 127 p.
- Serra, E. 2009. Noroeste do Paraná: O Domínio das Lavouras de Cana e a Nova Dinâmica da Paisagem nas Zonas de Contato Arenito-Basalto. In: XII EGAL - Encuentro de Geógrafos de América Latina, Montevideu. Disponível em: < <http://www.egal2009.com/> >. Acesso em: 03 set. 2009.
- Shikida, P. F. A. Alves R. A. A. 2001. Panorama Estrutural de Crescimento e Estratégias Tecnológicas as Agroindústria Canavieira Paranaense. Nova Economia, Belo Horizonte, V. 11 n.2 p. 123-148, dez.
- Washburne C. W. 1930. Petroleum Geology of the State São Paulo. Boletim número 22 – Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo.
- Wrege, M. S. Caramori, P. H. Gonçalves A. C. A. Bertonha, A. Ferreira, R. C. Caviglione, J. H. Faria, R. T. de, Freitas, P. S. L. de, Gconçalves S. L. 2005 Regiões potenciais para cultivo da cana-de-açúcar no Paraná, com base na análise do risco de geadas. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 113-12.