

*Transformações no uso da terra e na estrutura de solos no Cerrado em áreas de expansão da cana-de-açúcar: o caso da microrregião de Quirinópolis, Goiás*

*Changes in land use and structure of soils in Savannah in areas of expansion of cane sugar: the case of microregion of Quirinópolis, Goiás*

*Cambio en el uso de la tierra y estructura del suelo en Sabana en areas de expansión de la caña de azúcar: el caso de la microrregión de Quirinópolis, Goiás*

Adriana Aparecida Silva  
Universidade Estadual de Goiás – Campus Goiás  
ueg.adriana@gmail.com

Selma Simões de Castro  
Universidade Federal de Goiás  
selma.castro@uol.com.br

---

**Resumo**

O estado de Goiás se destaca no processo atual de expansão da cana-de-açúcar e por questões logísticas, edafoclimáticas e de interesses econômicos sua mesorregião sul sobressai e nesta a microrregião de Quirinópolis. Ali, o processo de expansão da cana-de-açúcar ocorreu primeiramente em Latossolos Vermelho distroféricos de textura argilosa, em substituição às áreas de cultura anual, para em um segundo momento, esgotada a oferta dessas áreas, substituir áreas de pastagem nos Latossolos Vermelho distróficos de textura média. Os resultados confirmam a expansão rápida em áreas anteriormente com soja, onde já se consolidou, e revelaram que os citados solos apresentaram risco alto a muito alto de compactação. Observou-se a presença indiscutível de degradação da qualidade física do solo, resultante desse processo, corroborada pelos indicadores conhecidos de aumento da resistência à penetração, da dispersão de argila e da densidade do solo, acompanhados da redução da macroporosidade e de mudanças na morfo porosidade. Conclui-se que a compactação pode estar associada aos efeitos das práticas de manejo com máquinas pesadas, porém até o momento estudado, pode ser atenuada pelo uso de fertirrigação com vinhaça.

**Palavras-chave:** expansão canavieira; qualidade física dos solos; compactação.

---

### Abstract

The state of Goiás stands out in the current process of expansion of Sugar Cane and due to logistical reasons, soil and climatic as well as economic interests its Southern central region is highlighted, with special emphasis on Quirinópolis. The expansion process of sugar cane first occurred in Dystroferic Red Latosol of clayey texture in replacement of areas of annual crop as the second step; once the supply of these areas is exhausted pasture areas in medium textured Dystrophic Red Latosol are replaced. The results confirmed the rapid expansion of planted areas, initially on areas before soybeans, which have been consolidated, and also revealed that the soils had shown high to very high compression risk. It is important to mention the unquestionable degradation of physical quality resulting from this process, supported by known indicators of increased penetration resistance, dispersion of clay and soil density, accompanied by the reduction of the macroporosity and changes in morphoporosity. It is concluded that compression, can be associated with the effects of management practices with heavy machinery, but studies so far, can be mitigated by the use of fertirrigation with stillage.

**Keywords:** sugar cane expansion; soil physical conditions; compaction.

---

### Resumen

El estado de Goiás se destaca en actual proceso de expansión de la caña de azúcar y los problemas logísticos, el suelo, el clima y los intereses económicos de su centro sur se encuentran en esta microrregión de Quirinópolis. En este proceso de expansión de la caña de azúcar se produjo principalmente en Oxisoles dystroferic zonas rojas arcillosas a cambio de la cosecha anual en un segundo momento agotado el suministro de estas áreas, en sustitución de las zonas de pastoreo en distrófica medio textura roja. Los resultados confirmaron la rápida expansión de las superficies plantadas, inicialmente en áreas antes de la soja, que se han consolidado y también revelaron que los suelos se habían citado riesgo alto o muy alto de compresión y la presencia indiscutible de la degradación física que resulta de este proceso, con el apoyo los indicadores conocidos de aumento de la resistencia a la penetración, dispersión de arcilla y la densidad, acompañado de la reducción de la porosidad y los cambios en morfoporosidad. Llegamos a la conclusión de que la compresión puede estar asociada con los efectos de las prácticas de gestión con maquinaria pesada, pero hasta ahora estudiado, puede ser mitigado por el uso de la fertirrigación con vinaza.

**Palabras clave:** expansión de la caña, la calidad física del suelo; compresión.

---

## Introdução

Compreender a dinâmica da paisagem do Cerrado na atualidade requer conhecer as mudanças de uso da terra e nelas incluir a expansão recente da cana-de-açúcar, que vem ocorrendo desde o final dos anos de 1990, rumo ao centro do Cerrado, especialmente nos estados de Mato Grosso do Sul e Goiás que passaram a se destacar como alvo desse processo desde 2004 (NASSAR *et al.*, 2008, p. 65). Goiás, que até então não se destacava no setor (exceto por uma usina considerada modelo, a Jales Machado, em Goiatuba), na safra 2011/12 ocupa a terceira posição no *ranking* nacional de produção sucroalcooleira (CONAB, 2012, p. 6), apresentada para a safra 2012/2013 uma área plantada destinada à produção de açúcar e álcool equivalente a 732,02 mil ha (8,54% da área plantada no país). Com esta área de produção Goiás fica atrás apenas do estado de São Paulo, embora muito distante, já que sua área de produção foi de 4.426,45 mil ha (51,66% da área total do país) e de Minas Gerais, embora tecnicamente empatado, pois que sua área é de 768,64 mil ha (8,97%) (CANASAT, 2012).

As estatísticas (área plantada e colhida, produção e produtividade) revelam rapidez e intensidade desse processo recente em Goiás, o que mostra a necessidade de se avaliar as consequências dessa expansão tão rápida, considerando-se que Goiás é também grande produtor de grãos e carne bovina. Dentre os elementos considerados para explicar esse ritmo de expansão destaca-se o cenário ambiental internacional, focado na busca por energias renováveis, favorecido ainda pela média a elevada aptidão edafoclimática (MAZATTO *et al.*, 2009, p. 12) e pedogeomorfológica do centro-sul do Cerrado (CASTRO *et al.*, 2007, p. 23), além, da logística favorável (SILVA; MIZIARA, 2011, p. 403).

Mudanças na forma de uso e ocupação agrícola das terras devem ser consideradas a partir de diversas perspectivas, inclusive de escala, porque a inserção de alguns elementos pode alterar todo o agrossistema. No presente caso, as mudanças causadas pela substituição de culturas, aqui consideradas como agentes modificadores da paisagem e dos diversos elementos que a compõem, tendem a comprometer, dentre outros elementos, os solos, podendo repercutir nas diversas escalas, desde as visíveis ao olho nu, como as megascópicas e macroscópicas (da paisagem e perfis de solos, respectivamente), até as invisíveis ao olho nu, como as microscópicas, representadas pela organização elementar dos constituintes dos solos (argila, areia, silte, matéria orgânica, etc.) e pela morfologia do seu espaço poroso, que permite avaliar suas funções ou serviços ambientais (COOPER, 1999, p.12; QUEIROZ NETO, 2000, p. 60; CASTRO *et al.*, 2003, p. 112; VIDAL-TORRADO *et al.*, 2005, p. 147).

As análises de macromorfologia (perfis de solo) e micromorfologia (das microestruturas), além dos parâmetros analíticos de física de solos, contribuem para a dedução dos processos e mecanismos atuantes nos ambientes morfopedológicos e hidropedológicos que se sucederam ao longo do tempo. São, portanto, uma ferramenta essencial para o entendimento da dinâmica dos solos submetidos às mudanças de uso e manejo, as quais podem induzir, também, mudanças estruturais, pedogeoquímicas e mineralógicas, fazendo desaparecer ou surgir novas estruturas e comportamentos, influenciando no potencial de aproveitamento do solo (CASTRO *et al.*, 2003, p. 115; CASTRO, 2008, p. 3). Certo é que, dependendo da forma do manejo e do tipo do solo, além do histórico de uso e manejo, bem como das características dos terrenos, pode haver comprometimento na estrutura do solo, com desestabilização dos macro e microagregados, como por exemplo, através da compactação (KERTZMAN, 1996, p. 23).

Revisões da literatura mostraram ainda que o plantio na palha e a fertirrigação com vinhaça, pode levar a uma melhoria da agregação e consequentemente da porosidade do solo. A vinhaça, em particular, apresenta potencial de recuperação dos solos, devido fornecer elevado teor de matéria orgânica, mas pode também levar à contaminação de solos e águas e mudanças nas respectivas biotas, cujos efeitos são pouco conhecidos (SILVA *et al.* 2007, p. 109).

A Microrregião de Quirinópolis (MRQ), área selecionada para este estudo, foi considerada como um cenário representativo desse processo recente de expansão da cana-de-açúcar em Goiás, já que além de praticamente não ter cana-de-açúcar até 2004, desenvolveu um processo de expansão da ordem de 2.213% até 2012 (CANASAT,

2012). Fato devido ainda à elevada concentração de áreas plantadas (mais de 120.000 ha em 2012), além da relevância no processo por conter elevada concentração de usinas/destilarias de açúcar e etanol, com sete unidades industriais, além de localizar três dos dez maiores municípios produtores de cana-de-açúcar em Goiás, sendo eles Quirinópolis com área de produção de 48.233 ha, Gouvelândia com área de produção de 23.245 ha e Caçu com área de produção de 20.261 ha, respectivamente primeiro, sexto e décimo no *ranking* estadual (CANASAT, 2012).

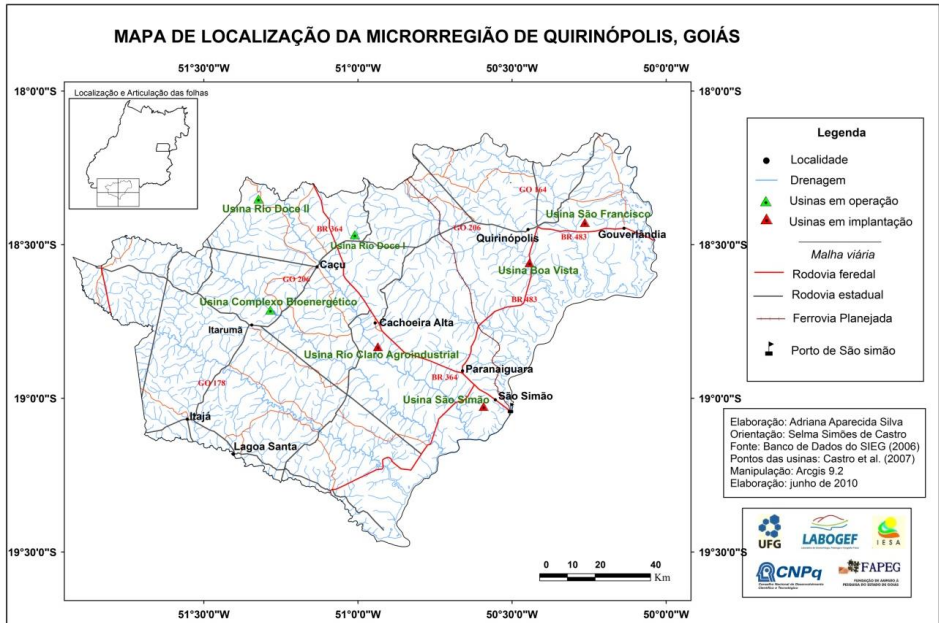
Convém lembrar que como demonstrado por Abdala e Castro (2010, p. 28) para a Microrregião do Meia Ponte e por Silva e Miziara (2011, p. 406 ) para o estado de Goiás, confirmando o exposto por Nassar *et al.* (2008, p. 91), a expansão da cana-de-açúcar deu-se preferencialmente sobre áreas antes ocupadas com culturas anuais, principalmente soja, ainda que na MRQ tivesse, e ainda mantenha, a atividade pecuária como dominante. Some-se a isso que observações preliminares indicaram que as áreas preferenciais de expansão, estão sobre Latossolos Vermelho, solos de textura média e argilosas, os quais são considerados de elevado potencial de compactação, devido sua textura, associada ao manejo altamente tecnificado e à intensidade do processo.

Nossa hipótese é de que a expansão do cultivo da cana-de-açúcar na MRQ, sobre os Latossolos de textura argilosa a média, antes ocupados por culturas anuais e pastagem, respectivamente, levou a mudanças na sua estrutura, marcadas por diferentes graus de compactação, impacto típico de áreas de cultivo altamente tecnificado da cana-de-açúcar, admitindo-se variações resultantes do tipo de manejo da fertilidade, ou seja, com e sem fertirrigação com vinhaça.

## **Materiais e Métodos**

### ***Área de estudo***

A MRQ localiza-se na região de planejamento denominada de Sudoeste de Goiás, pertencente à mesorregião Sul Goiano. Possui uma área total de 16.068,103 km<sup>2</sup> e é composta por nove municípios: Cachoeira Alta, Caçu, Gouvelândia, Itajá, Itarumã, Lagoa Santa, Paranaiguara, Quirinópolis e São Simão (figura 1).



**Figura 1:** Mapa de localização da microrregião de Quirinópolis, Goiás.

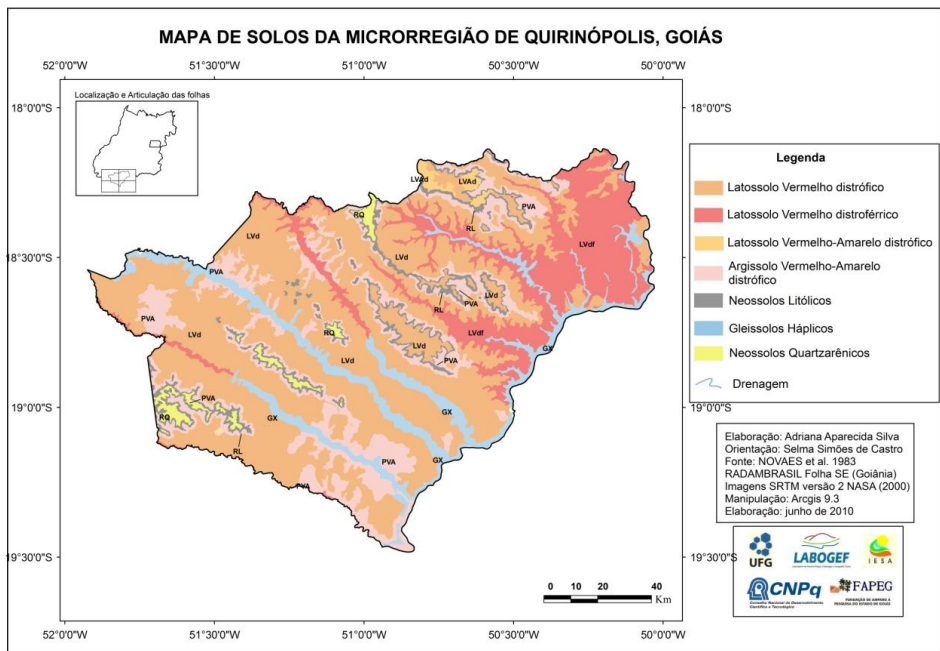
Como diferencial no setor agrícola, apresenta vantagens logísticas para a distribuição e escoamento da produção, uma vez que nela se situa o Porto de São Simão, o qual compõe trecho da Hidrovia Paranaíba-Tietê-Paraná, o poliduto (gasoduto, petroduto e alcoolduto) que interliga Campinas (SP) a Brasília (DF), passando pela mesorregião Sul Goiano no município de Senador Canedo, pertencente à região Metropolitana de Goiânia, além das rodovias pavimentadas GO 164, que se liga à BR 060 e 452 e GO 206, que se liga por sua vez à BR 364 e 483.

Dentre os elementos do meio físico, consideramos essencial destacar a declividade e a pedologia, por estarem diretamente relacionadas a questões agrícolas e de conservação do meio ambiente. Em relação a declividade as classes presentes são: 0 a 3%, 3 a 6%, 6 a 9%, 9 a 12% e > 12%. Observa-se que predominam os baixos declives, em geral inferiores a 6%, com destaque para os declives de 3 a 6%, considerados bastante favoráveis para a agricultura altamente tecnificada, como no caso da cana-de-açúcar. As declividades superiores a 9% representam apenas pequenas faixas que se encontram nos sopés das serras, dentre as quais: Serra da Confusão e a Serra do Paredão.

Quanto a pedologia foram identificadas na MRQ as seguintes classes de solos: Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf), Latossolo Vermelho distrófico (LVd), Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd), Argissolos Vermelho-Amarelo distróficos (PVAd), Neossolos Litólicos (RL), Gleissolos Hápicos (GX) e Neossolos

Quartzarênicos (RQ). Dentre os quais se destacam em termos de área de importância no processo de expansão da cana-de-açúcar da MRQ os LVd e os LVdf (figura 2).

LVd são caracterizados como solos profundos a muito profundos, bem drenados friáveis e bastante porosos. Sua estrutura se caracteriza por ser fracamente desenvolvida, pequena a muito pequena e granular, raramente com blocos subangulares, o que lhe confere um aspecto maciço. Apresenta-se na cor vermelho-escuro (2,5 YR) com grande variação textural. Quando associados aos arenitos do Grupo Bauru apresentam textura média, com teor de argila variando entre 12 e 31%. Tais solos podem se apresentar com caráter alumínico, em estado dessaturado, com problemas críticos quanto à deficiência de nutrientes, necessitando de correção da fertilidade natural (NOVAES *et al.*, 1983).



**Figura 2:** Mapa de solos da microrregião de Quirinópolis, Goiás.

Já os LVdf se assemelham ao LVd, exceto por apresentarem alto teor de ferro, no geral teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (pelo  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) de 180g/kg a < 360g/kg na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, em virtude da rocha de origem (basalto). Têm horizonte A moderado, textura argilosa e horizonte B latossólico com cores relativas aos tons vermelho-escuro (matiz 2,5YR e 10R), estrutura microagregada, muito pequena e pequena granular, fraca, com aspecto maciço e altamente porosa.

Apresentam ainda alta capacidade de retenção de umidade. São solos de textura argilosa, bem drenados e aerados (EMBRAPA, 2006).

### **Roteiro metodológico da pesquisa**

O roteiro geral da pesquisa passou por três grandes etapas: a revisão da literatura para a aquisição das bases conceituais e metodológicas; a análise espacial do processo de expansão da cana-de-açúcar numa escala regional, ou seja, da MRQ que permitiu o delineamento amostral; e o estudo específico dos solos em campo e laboratório.

A análise espacial da expansão da cana-de-açúcar na MRQ foi feita com base em imagens de satélites das datas: 25/06/2004, 15/06/2006, 22/07/2008 e 26/06/2010, do satélite Landsat TM5, nas bandas 345/RGB, com resolução espacial de 30 metros, trabalhando-se na escala 1:50.000, considerada sua acurácia satisfatória para a dimensão da MRQ e os dados secundários disponíveis. O período das imagens foi escolhido em função da sazonalidade climática e se refere a junho/julho, data que apresenta uma distância segura em relação ao período de colheita da cultura da soja na região Centro-Oeste (que se estende até abril), por outro lado, referente à época de colheita da cana-de-ano (SEAGRO, 2010). Tais imagens foram adquiridas gratuitamente através do site INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, cujas referências de localização são: órbitas 222 e 223, ponto 73. Ao todo foram trabalhadas oito cenas, as quais foram manipuladas inicialmente no programa Spring 4.2 para a segmentação e classificação, posteriormente foram manipuladas para cruzamento de dados e finalizadas na forma de produto cartográfico no programa ArcGis 10.

Com vistas a compreender a expansão da cana-de-açúcar, procedeu-se ao cruzamento dos mapas de expansão com base no mapa de uso de 2010, confrontado com o mapa de solos realizado no ambiente do SIG ArcGis 10, através da ferramenta *Intersect*, que possibilita extrair do produto 1 (solos) apenas as áreas de intersecção com o produto 2 (polígonos de cana). O mesmo foi feito entre o mapa de uso de 2004 e os polígonos de cana-de-açúcar do mapa de 2010, a partir dos quais, ainda em ambiente de SIG, foi possível gerar tabelas com dados referentes às classes dos polígonos e áreas em ha e km<sup>2</sup>. Através do cruzamento dos mapas (2004/2006, 2006/2008 e 2008/2010) com os polígonos de cana-de-açúcar (2010) foram elaborados produtos da síntese da dinâmica de expansão da cana-de-açúcar na MRQ.

Para detectar se havia conflitos de uso em relação ao uso do solo, procedeu-se à elaboração de produtos cartográficos analíticos através de cruzamentos do mapa de solos (foram considerados os atributos classe, textura, estrutura e homogeneidade) com o de declividade e de uso do solo, elaborados na etapa anterior. Os produtos gerados foram: mapa de capacidade de uso das terras, elaborado de acordo com o proposto por Lepsch *et al.* (1991), que considera o uso do solo sob uma perspectiva conservacionista.

Foram elaborados ainda mapas de discrepância entre uso e capacidade de uso, mapas de potencial e de risco à compactação. Os mapas de discrepância (ou conflito de

uso) entre uso e capacidade de uso das terras, foram elaborados considerando o uso dos anos de 2004 e de 2010, sendo o primeiro anterior à inserção da cana e o segundo quando da efetiva ocupação por esta cultura.

A partir destes produtos foram elaborados os mapas analíticos do potencial e de risco à compactação dos solos para os anos de 2004 e 2010. Os cruzamentos foram realizados em ambiente do SIG ArcGis 10. A metodologia para estabelecer classes de potencial e risco à compactação foi assim implementada: I- Determinação de pesos para cada uma das classes dos mapas de acordo com o grau de influência que possam apresentar, considerando solos de textura muito argilosa com maior peso; II- Correlação entre as classes dos diferentes mapas e os pesos; III- Definição de limiares (soma dos pesos) em associação às classes da legenda do produto final.

De posse desses mapas pode-se passar ao delineamento amostral dos solos, partindo da escala microrregional para pontual, da macro e microestrutura. Foram selecionadas áreas homogêneas representativas do histórico de expansão da cana-de-açúcar na MRQ relatado e considerando as características do meio físico, a saber, geologia, geomorfologia, declividade e pedologia. Assim, selecionaram-se áreas ocupadas pelos LVdf argilosos, antes sob cultivo de grãos, sobretudo soja onde a expansão se deu inicialmente; além de áreas com LVd textura média, antes com pastagem, convertidos em cana-de-açúcar em um segundo momento (SILVA; CASTRO, 2011).

Foram selecionados oito sítios amostrais para a abertura de trincheiras e descrição de perfis de solo com cana-de-açúcar, observando características semelhantes em relação ao manejo: todos relativos ao 4º corte do 1º ciclo, plantados com a mesma variedade de cana (SP 813250), com cultivo e colheita fortemente mecanizada e sem queima (junho 2008, maio 2009, maio 2010) e mesmo preparo do solo, variando apenas em relação à fertirrigação com vinhaça (quadro 1). Apoiados nas práticas de preparo e de conservação promovidas nestes solos, entendemos que os vestígios dos cultivos anteriores foram eliminados. Para viabilizar a análise comparada da qualidade física dos solos com e sem uso antrópico foram selecionadas duas áreas amostrais, relativas a vegetação natural para cada um dos referidos solos.

Os perfis foram analisados em faces de trincheiras abertas (cerca de 2 x 1,5 x 2,5 m) com realização das descrições morfológicas relativas a espessura do horizonte, cor, textura, estrutura, consistência, porosidade, presença de nódulos ou concreções e transição entre horizontes, além de coleta de amostras deformadas (compostas) e indeformadas de cada um dos seus horizontes (anéis volumétricos com três repetições por horizonte e caixas para confecção de lâminas delgadas para descrição micromorfológica com uma repetição por horizonte), seguindo-se as recomendações de Santos *et al.* (2005) quanto à coleta de amostras para análises físicas e de amostras indeformadas em anéis volumétricos; e de Castro *et al.* (2003) para a coleta de amostras indeformadas para confecção de lâminas delgadas para estudos micromorfológicos.



**Quadro 1:** Caracterização dos perfis de solo estudados.

Perfil	Elementos do meio físico				Uso da terra anterior a cana/vegetação	Fertirrigação
	Solo	Geologia	Declividade	Altitude		
1 A	LVdf	Basalto	0 a 3%	576	Soja	Fertirrigada
1 B				540		Não fertilrigada
2 A				503	Pastagem	Fertirrigada
2 B				460		Não fertilrigada
6 B				458	Sucessão: pasto/soja/cana	fertilrigada
7 C				545	Vegetação natural	-
3 B				LVd	Arenito	0 a 3%
4 B	3 a 6%	595	Pastagem			
5 B	0 a 3%	633	Sucessão: pasto/soja/cana			
8 C	3 a 6%	589	Vegetação natural			-

Número seguido de a letra A refere-se a perfil com manejo fertilrigado. Número seguido de letra B refere-se a perfil sem fertilrigação. Número seguido de a letra C refere-se a perfil com vegetação.

A verificação da resistência mecânica à penetração do solo (RP) foi feita ao lado das trincheiras por meio do penetrômetro vertical de impacto, modelo IAA/Planalçucar que possui na parte superior um êmbolo de 4 kg e uma haste graduada em cm. Com ele são promovidos impactos ao cair o êmbolo e avaliada a profundidade de penetração, considerando uma profundidade máxima de 60 cm (STOLF, 1983). A transformação da penetração da haste do aparelho no solo (cm/impacto) em valores de RP foi obtida pela equação 1 (STOLF, 1991).

### Equação 1

$$RP \text{ (kgf cm}^{-2}\text{)} = 5,6 + 6,89N$$

Onde RP = resistência do solo ou índice do cone e N = penetração unitária por um impacto. Para a conversão de kgf cm<sup>-2</sup> para MPa, multiplicou-se o resultado obtido na equação pela constante 0,0981.

Em laboratório as amostras foram preparadas para análises, sendo que as amostras deformadas destinaram-se às seguintes determinações: umidade gravimétrica, textura (em água e NaOH + Hexametáfosfato de Na pelo método do densímetro), argila dispersa em água, grau de floculação e teor de matéria orgânica (Dicromato de Na). As amostras indeformadas, coletadas em anéis volumétricos, serviram à determinação da densidade do solo (DS) (método do anel volumétrico), densidade de partículas (DP) (método do balão volumétrico) e cálculo da porosidade total (PT) (EMBRAPA, 1997).

As amostras indeformadas para o estudo micromorfológico foram coletadas em caixas retangulares de papel-cartão branco (12x7x6 cm) na forma de monolitos esculpidos em cada um dos horizontes dos dez perfis de solo (CASTRO *et al.*, 2003). Em laboratório as amostras foram secas em estufa a 40° C e impregnadas sob vácuo

com resina de poliéster (Crystal) para posteriormente serem cortadas, coladas em lâminas de vidro de 3 x 4 cm e polidas até alcançarem a espessura de 25  $\mu\text{m}$  (BREWER, 1976 adaptado por CASTRO, 1985). Estas amostras foram analisadas em microscópio petrográfico óptico binocular (Olympus, modelo BX – 40), com aumentos progressivos de 2X a 10X. Os principais parâmetros micromorfológicos observados foram: distribuição relativa (trama), fundo matricial (matriz), microestrutura, (macro) porosidade dominante e feições pedológicas dominantes. As descrições das lâminas delgadas foram feitas conforme instruções de BULLOCK *et al.* (1985) e STOOPS (2003), tendo sido tomadas de fotomicrografias das características específicas de cada lâmina através de máquina fotográfica digital (Olympus, modelo Altra 20) acoplada ao microscópio.

## Resultados e Discussões

### *Configuração espacial da cana-de-açúcar na microrregião de Quirinópolis/GO*

A análise multitemporal do uso e ocupação das terras da MRQ, com base na interpretação de imagens de satélite, possibilitou avaliar a substituição de usos antes consolidados como grãos (praticadas nos solos mais aptos ao cultivo intensivo) e pastos (praticados nos solos menos aptos à agricultura intensiva), caracterizando esta nova dinâmica de reconfiguração da paisagem, induzidas pela inserção e expansão acelerada da cana-de-açúcar. Entre 2004 e 2006, observou-se a substituição de áreas de soja por cana-de-açúcar, em 5.790 ha de área plantada. Já entre 2006 e 2008, com efetivação a partir de 2010, a conversão dominante passou a ser da pastagem em 25.915 ha (51,17%), ainda que a expansão ocorra ainda em áreas de cultura anual, passando a 18.921 ha.

Em termos espaciais em um primeiro momento, a cana-de-açúcar ocupou os municípios de Quirinópolis e Gouvelândia, para em seguida se dirigir (e ainda se dirige) rumo a oeste, municípios de Lagoa Santa, Cachoeira Alta, São Simão e Itarumã, devido a instalação nos mesmos de três novas usinas. Já em relação a pedologia, o processo de expansão ocorre primeiramente em áreas de Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), para em um segundo momento, esgotada a oferta dessas áreas mais nobres, que demandavam menor custo de produção por estarem prontas, passou a ocupar áreas de pastagem nos Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e outros solos com menor ocorrência na MRQ. Devido às características destes solos, homogêneos, argilosos a argilo-arenosos, geralmente, associados a relevos plano ou suave ondulados, estes apresentam elevado potencial de compactação.

Sendo considerada a relação entre o potencial de compactação, o uso/capacidade de uso das terras e a discrepância entre estes, além do risco à compactação dos solos, pode-se constatar que as áreas com risco muito alto apresentam potencial e discrepância muito alta, fato que se explica pelo domínio dos solos de textura argilosa e com capacidade de uso relativa a preservação da fauna e flora, porém destinadas ao uso agrícola, em especial ao cultivo altamente tecnificado da cana-de-açúcar. Isso porque, além do potencial natural dos solos, a cana faz uso de manejo

intensivo altamente tecnificado com maquinário pesado no cultivo e na colheita, o que efetivamente altera a estrutura dos solos potencializando a ocorrência de impactos, dentre os quais a compactação dos solos, corroborando resultados semelhantes encontrados na literatura. As áreas com risco alto a compactação associam-se a solos com muito alto a alto potencial de compactação, mas com baixa discrepância entre uso e capacidade de uso.

### ***Qualidade física dos solos da microrregião de Quirinópolis/GO***

Avaliando-se os solos preferenciais do processo de expansão da cana-de-açúcar, os LVdf (sobretudo no primeiro momento da expansão) e os LVd (no segundo momento), em relação à sua qualidade física, visando caracterizar os efeitos dessa dinâmica sobre solos com elevados riscos à compactação, mudou-se de escala na pesquisa focando desta feita os solos em si. Foram privilegiados os indicadores relacionados a estrutura e porosidade em perfis de solo representativos de solos cultivados com cana-de-açúcar. Foram considerados os parâmetros macromorfológicos, físico/hídricos e micromorfológicos, com vistas a avaliar a qualidade físicas dos solos, tomando-se o cuidado para selecionar-se também duas áreas de referência com cobertura vegetal natural. Admitiu-se que o preparo inicial dos solos (subsolagem, gradagem pesada, gradagem leve) teria promovido eliminação de efeitos dos usos anteriores nos perfis cultivados.

Os atributos morfológicos dos solos LVdf e LVd indicaram que já há um processo de degradação estrutural dos solos em andamento devido a compactação. Quanto à estrutura em campo, os LVdf se destacaram por terem apresentado fortes evidências do fenômeno nos horizontes superficiais A, AB e BA, sobretudo no perfil 2B (soja/cana não fertirrigado), onde o grau é alto, marcado pela presença de estrutura laminar nos horizontes A e AB, embora friável quando úmida, o que reduziu o grau de compactação avaliado. Mesmo assim, a consistência seca nesses solos variando entre ligeiramente dura, dura a muito dura em todos os horizontes superficiais dos perfis, tanto dos LVdf como dos LVd, permite destacar os perfis 1B (soja/cana não fertirrigado), 2B (pasto/cana não fertirrigado) e 4B (pasto/cana não fertirrigado) com dois horizontes (A e AB) apresentando consistência muito dura, relativa a compactação dos solos.

Comparando-se os atributos físicos dos LVdf e LVd relativos a porosidade total (PT) e densidade do solo (DS), os mesmos também indicam decréscimo da qualidade física dos LVdf relacionada ao manejo não fertirrigado com vinhaça, como nos perfis 2B (pasto/cana não fertirrigada), 1B (soja/cana não fertirrigada) e 6B (sucessão pasto/soja/cana não fertirrigada) que registraram os maiores aumentos proporcionais nos valores de DS e menores de PT, em relação ao perfil referência 7C (vegetação). Adicionalmente, os LVd apresentaram aumento da dispersão de argila (ADA), associada a maiores valores de DS e redução da PT, claramente nos perfis 5B (sucessão pasto/soja/cana não fertirrigada) e em menor intensidade no 4B (pasto/cana não fertirrigada).

Os valores de resistência à penetração (RP) encontrados para os LVdf também foram superiores aos encontrados para os LVd, o que pode ser explicado pela maior resiliência destes solos fortemente microagregados devido teores altos de  $Fe_2O_3$ . Constatou-se ainda, que as maiores RP se encontram entre 0 e 25 cm, sendo mais representativas entre e 15 e 25 cm nos LVdf, já nos LVd são maiores entre 0 e 10 cm, o que permite supor que se trata de compactação na parte superior dos perfis, não havendo diferença substancial em relação ao uso anterior.

Em relação ao manejo, fertirrigado com vinhaça, a expectativa era de melhoria na qualidade física dos solos, pelo aumento da agregação e da estabilidade dos agregados, redução da dispersão de argila (ADA) e aumento no grau de floculação (GF) do solo, da PT e redução da DS, conforme observado por vários autores, devido ao *input* de MO aos solos. No caso dos LVdf, os únicos atualmente fertirrigados na MRQ, de fato constatou-se uma maior qualidade física, apesar de ter se dado apenas uma aplicação de vinhaça e inferior ao preconizado para Goiás. Mesmo assim, estes solos apresentaram menores alterações na estrutura, na consistência, na ADA, no GF e na RP, indicativas de compactação, mas em menor grau de desenvolvimento do fenômeno, em relação ao observado em áreas com manejo não fertirrigado.

### ***Características micromorfológicas dos solos da microrregião de Quirinópolis/GO***

Em relação à micromorfologia dos solos foram observados nos horizontes do LVdf distribuições enáulicas (grãos de argila dissociados dos grãos de areia) sendo convertidas em porfíricas (grãos de areia cimentados pelos de argila), em virtude do aumento na cimentação do material grosseiro pelo material fino, ocupando inclusive os espaços porosos maiores e indicando rearranjo de partículas, acompanhadas de redução da porosidade total. A distribuição porfírica refere-se a zonas adensadas indicativas de instalação de processo de compactação. Nos perfis 1A (soja/cana fertirrigada), 2A (pasto/cana fertirrigada) e 6B (sucessão pasto/soja/cana não fertirrigada) a presença de zonas adensadas, principalmente nos horizontes superficiais é compatível com processo de compactação. Porém, esta foi interpretada como moderada a fraca devido à descontinuidade dessas zonas compactadas porfíricas devido fato de ter sido constatada em campo a reversibilidade sazonal da consistência. Já nos perfis 1B (soja/cana não fertirrigada) e 2B (pasto/cana não fertirrigada) foi considerada como indicativa de forte compactação dos horizontes superficiais dos solos.

Morfologicamente o Latossolo Vermelho apresenta grande homogeneidade vertical, onde o horizonte B latossólico (Bw) se destaca por apresentar estrutura maciça porosa, relativa a uma estrutura granular forte, conhecida como microagregada. Nesses solos se observam estrutura em blocos pequenos, indicadores micromorfológicos de degradação, relativos à presença de numerosas zonas de distribuição porfírica nos horizontes superficiais, características de compactação, com alterações na forma e no arranjo do espaço poroso, devido redução do tamanho e mudanças na forma dos poros, passando de intergranulares a fissurais finos, associadas aos blocos.

Nos LVd predominam as distribuições enáulicas e gefúricas, que se relacionam à microestrutura em blocos subarredondados pequenos e grumos pequenos

de pedalidade forte a moderada, as quais estão associadas à pequenas zonas porfíricas adensadas que se encontram predominantemente nos horizontes A, AB, BA e Bw1 do perfil 5B (sucessão pasto/soja/cana não fertirrigada) e A e AB do perfil 4B (pasto/cana não fertirrigado), considerados de compactação moderada a fraca respectivamente.

### *Síntese comparada dos resultados*

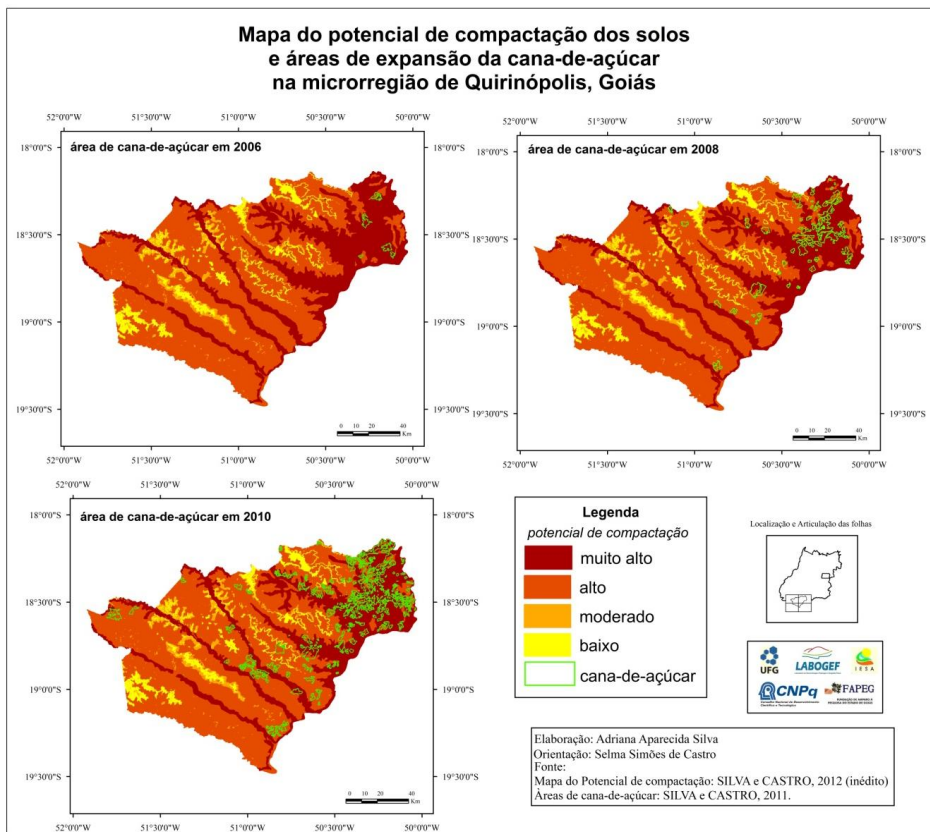
A análise multitemporal do uso e ocupação das terras da MRQ, com base na interpretação de imagens de satélite, possibilitou avaliar a substituição de usos antes consolidados como grãos e pastos, do setor grãos/carne, e sua dinâmica na reconfiguração da paisagem, induzidas pela inserção e expansão acelerada de áreas de cultivo de cana-de-açúcar. Tal processo, favorecido no país pela consolidação do Plano Nacional de Agroenergia (BRASIL, 2006), se materializou nesta microrregião em dois momentos distintos. O primeiro, entre 2004 e 2006, com substituição de áreas de soja por cana-de-açúcar, com 0,36% (5.790 ha) de área plantada. O segundo entre 2006 e 2008 e se efetiva a partir de 2010, quando a conversão de uso dominante passa a ser da pastagem pela cana-de-açúcar, sendo relativa a 51,17% (25.915 ha) representando a maior área, ainda que a expansão ocorra fortemente em áreas de cultura anual, passando a 37,38% (18.921 ha) do total da microrregião, com um incremento de 13.189 ha.

Atualmente a expansão ocorre quase que exclusivamente em áreas de pastagem, induzida pela instalação de novas usinas, rumo a oeste e noroeste da MRQ. Em termos espaciais em um primeiro momento, a cana-de-açúcar ocupou os municípios de Quirinópolis e Gouvelândia, para em seguida se dirigiu (e ainda se dirige) rumo a oeste nos municípios de Lagoa Santa, Cachoeira Alta, São Simão e Itarumã, devido a instalação de novas usinas (MAPA, 2010), como mostram as imagens do ano de 2010. Observou-se também que a maior parte das substituições vem ocorrendo sobre áreas de pastagem, o que já representa 33,01% (38.280 ha) da área MRQ, ainda que a substituição de cultura de grãos continue ocorrendo (23,31% ou 27.040 ha). Tal incremento de áreas envolveu mais municípios da MRQ, onde três novas usinas encontram-se em instalação em Caçu (Usina Rio Claro, registrada), usinas Rio Doce I, situada em Cachoeira Alta, Rio Doce II, situada em Caçu e Usina Complexo Bioenergético, situada na divisa entre Caçu e Itarumã (MAPA, 2010).

Três tipos de sucessão de uso antecederam a inserção da cana-de-açúcar e acompanharam esses momentos de expansão: no primeiro momento a sucessão foi predominantemente da cultura da soja pela cana-de-açúcar; e no segundo momento passa a ser da pastagem para a cana-de-açúcar, concomitante com a sucessão pasto/soja/cana. Esta última se deu como consequência da conversão do uso para cultivo da cana-de-açúcar, onde as áreas de soja foram deslocadas para áreas de pastagem, caracterizando um novo tipo de substituição de cultura, pasto/soja antes do plantio da cana, onde os solos estavam mais degradados como forma de preparo do solo para o plantio da cana-de-açúcar. Tais dinâmicas podem ser explicadas em termos de investimentos no controle de impactos, no caso de compactação de solos, dado que as terras da MRQ apresentavam potencial de compactação, além disso, é fato que as

usinas estavam em construção, captando recursos financeiros dos grupos empreendedores, e por isso iniciaram o processo produtivo nos melhores solos.

Assim, a substituição de culturas ocorre na MRQ a partir de 2004, com primeira safra colhida em 2007, e deu-se em áreas que se encontravam em melhores condições, uma vez que a *commodity* soja era cultivada em solos de elevada aptidão agrícola (BORGES *et al.*, 2010), em rotação com milho e favorecendo um bom preparo e manutenção da fertilidade e da conservação do solo, ainda que apresentando potencial natural de compactação muito alto. Na sequência, em 2008 a cana-de-açúcar além de continuar se expandindo sobre áreas com potencial muito alto de compactação (59,2% das áreas de expansão), também se expande sobre áreas com potencial alto (40% das áreas de expansão), destinadas tanto ao cultivo de grãos como de pastagem. Tal cenário se mantém no ano de 2010, com maior expansão em áreas de muito alto potencial de compactação (51,7%) e secundariamente relativas a alto potencial de compactação (46,5%), ainda que desde 2008 a maior parte das substituições de cultura se refiram a áreas com pastagem extensiva. Considera-se ainda a inserção da cana-de-açúcar em áreas com potencial baixo e moderado com menor relevância em termos de área (tabela 1, figura 3).



**Figura 3:** Mapa do potencial de compactação dos solos e sua relação espacial com as áreas de expansão de cultivo de cana-de-acúcar nos anos de 2006. 2008 e 2010.

**Tabela 1:** Áreas de cultivo de cana-de-açúcar em relação ao potencial de compactação e ao ano mapeado.

Potencial	2006		2008		2010	
	área em ha	%	área em ha	%	área em ha	%
muito alto	5.790,55	100	29.970,00	59,2	60.000,00	51,7
alto	0,00	0,0	20.269,00	40,0	53.903,00	46,5
moderado	0,00	0,0	0,00	0,0	600,00	0,5
baixo	0,00	0,0	402,00	0,8	1.500,00	1,3
TOTAL	5.790,55	100	50.641,00	100	116.003,00	100

Em termos pedológicos e processo de expansão da cana-de-açúcar na MRQ ocorreu primeiramente em substituição a áreas de Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf), para em um segundo momento, esgotada a oferta dessas áreas mais “nobres”, substituir áreas de pastagem nos Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e outros solos com menor ocorrência na MRQ, além de menor aptidão agrícola. O problema é que devido às características desses melhores solos, homogêneos, argilosos a argilo-arenosos, geralmente, associados a relevos planos ou suave ondulados, estes apresentam elevado potencial de compactação.

Considerando a relação entre o potencial de compactação, o uso/capacidade de uso das terras e a discrepância entre estes, consubstanciada no mapa do risco à compactação dos solos da MRQ, pode-se constatar que as áreas com risco muito alto apresentam potencial e discrepância muito alta, fato que se explica pelo domínio dos solos de textura argilosa e com capacidade de uso relativa a preservação da fauna e flora, porém destinadas ao uso agrícola, em especial ao cultivo altamente tecnificado da cana-de-açúcar. Isso porque, além do potencial natural dos solos, a cana-de-açúcar faz uso de manejo intensivo altamente tecnificado com maquinário pesado no cultivo e na colheita, o que efetivamente altera a estrutura dos solos potencializando a ocorrência de impactos, dentre os quais a compactação dos solos, corroborando resultados semelhantes encontrados na literatura já citada. As áreas com risco alto a compactação associam-se a solos com muito alto a alto potencial à compactação, mas com baixa a alta discrepância entre uso de capacidade de uso.

Avaliando-se os solos preferenciais do processo de expansão da cana-de-açúcar na MRQ, os LVdf (sobretudo no primeiro momento da expansão) e os LVd (no segundo momento), em relação à sua qualidade física, visando caracterizar os efeitos dessa dinâmica sobre solos com elevados riscos à compactação, mudou-se de escala na pesquisa. Foram privilegiados os indicadores relacionados a estrutura e porosidade dos perfis representativos de solos cultivados com cana-de-açúcar, considerando-se os parâmetros macromorfológicos, físico/hídricos e micromorfológicos, com vistas a avaliar a qualidade físicas dos solos, tomando-se o cuidado para selecionar-se também duas áreas de referência com cobertura vegetal natural. Admitiu-se que o preparo

inicial dos solos (subsolagem, gradagem pesada, gradagem leve) teria promovido eliminação pelo menos parcial de efeitos dos usos anteriores nos perfis cultivados.

Os atributos morfológicos dos solos LVdf e LVd indicaram que já há um processo de degradação estrutural dos solos devido a compactação. Quanto a estrutura em campo, os LVdf se destacaram por terem apresentado fortes evidências do fenômeno nos horizontes superficiais A, AB e BA, sobretudo no perfil 2B (soja/cana não fertirrigado), onde o grau é alto, marcado pela presença de estrutura laminar nos horizontes A e AB, embora friável quando úmida, o que reduziu o grau de compactação avaliado. Mesmo assim, a consistência seca nesses solos variando entre ligeiramente dura, dura a muito dura em todos os horizontes superficiais dos perfis, tanto dos LVdf como dos LVd, permite destacar os perfis 1B (soja/cana não fertirrigado), 2B (pasto/cana não fertirrigado) e 4B (pasto/cana não fertirrigado) com dois horizontes (A e AB) apresentando consistência muito dura, relativa a compactação dos solos.

O manejo agrícola da cana-de-açúcar, após a primeira colheita, adota o plantio em resíduos da palhada, prática considerada conservacionista de manejo do solo, além da fertirrigação com uso de vinhaça, subproduto considerado como importante fertilizante para as terras e promotor da agregação da estrutura do solo, o qual, no entanto, tem sua disponibilidade limitada às áreas próximas das usinas. A fertirrigação, além de visar o controle da fertilidade, também tende a mitigar impactos nos solos, dentre estes a compactação que se apresenta como comum em áreas de cana-de-açúcar devido ao manejo altamente tecnificado com maquinaria pesada, em associação às características de solo e da declividade do terreno.

Comparando-se os atributos físicos dos LVdf e LVd relativos a PT e DS, os mesmos também indicam decréscimo da qualidade física dos LVdf relacionada ao manejo não fertirrigado com vinhaça, como nos perfis 2B (pasto/cana não fertirrigada), 1B (soja/cana não fertirrigada) e 6B (sucessão pasto/soja/cana não fertirrigada) que registraram os maiores aumentos proporcionais nos valores de DS e menores de PT, em relação ao perfil referência 7C (vegetação). Adicionalmente, os LVd apresentaram aumento da dispersão de argila (ADA), associada a maiores valores de DS e redução da PT, claramente nos perfis 5B (sucessão pasto/soja/cana não fertirrigada) e em menor intensidade no 4B (pasto/cana não fertirrigada).

Os valores de RP encontrados para os LVdf também foram superiores aos encontrados para os LVd, ainda que os primeiros tenha sido obtidos na estação seca, sendo corrigidos são maiores para os LVd do que para os LVdf, o que pode ser explicado pela maior resiliência destes solos fortemente microagregados devido teores altos de  $Fe_2O_3$ , como é o caso (CASTRO *et al.*, 2003). Constatou-se ainda, que as maiores RP se encontram entre 0 e 25 cm, sendo mais representativas entre e 15 e 25 cm nos LVdf, já nos LVd são maiores entre 0 e 10 cm. Para os LVdf as maiores RP se registraram nos perfis 1B (soja/cana não fertirrigado) e 2B (pasto/cana não fertirrigada) e nos LVd nos perfis 4B (pasto/cana não fertirrigada) e 5B (pasto/soja/cana não fertirrigada), o que permite supor que se trata de compactação na parte superior dos perfis e que não há diferença substancial em relação ao uso anterior, mas o fator



comum a todos é que não são fertirrigados e que foram submetidos à tráfego de máquinas pesadas em todas as fases do manejo agrícola.

Comparando-se os mesmos indicadores acima entre solos cultivados com cana-de-açúcar e os perfis de referência com vegetação natural, pode-se perceber graus de compactação diferentes nos solos cultivados, como era esperado, indicados pela presença de blocos subangulares e laminares, com consistência seca variando de dura a muito dura, sobretudo nos horizontes A e AB dos perfis 2B, 1B, 1A, 2A, 6B, 5B, 4B e 3B e firme no estado úmido, corroborando o exposto na literatura. Os maiores valores de DS, os menores de PT e MO e maiores RP encontram-se nos perfis 2B (pasto/cana não fertirrigado) e 1B (soja/cana não fertirrigado) nos LVdf e 5B (pasto/soja/cana não fertirrigado) e 4B (pasto/cana não fertirrigado) nos LVD, logo, os que apresentaram os piores índices de qualidade física dos solos, o quais têm em comum o fato de que nenhum deles é fertirrigado.

Em relação a esse tipo de manejo, fertirrigado com vinhaça, a expectativa é de melhoria na qualidade física dos solos, pelo aumento da agregação e da estabilidade dos agregados, a redução da dispersão de argila e o aumento no grau de flocculação do solo, além de aumento da PT e redução da DS, conforme observado por vários autores. No caso dos LVdf, os únicos atualmente fertirrigados na MRQ, de fato constatou-se uma maior qualidade física. Mesmo assim, estes solos apresentaram alterações na estrutura, na consistência, na dispersão de argila, no grau de flocculação e na RP, indicativas de compactação, mas em menor grau, em relação ao observado em áreas com manejo não fertirrigado. Contudo, há que se levar em consideração os próprios atributos dessa classe de solo, como grau forte da estrutura microagregada (granular pequena a muito pequena) associada aos elevados teores de  $Fe_2O_3$ , que em geral lhe conferem não só maior resistência, mas também maior resiliência (CARVALHO *et al.*, 1982), isto é, são descompactáveis mais facilmente, o que pode ser corroborado ainda pela elevada friabilidade no estado úmido, quando duros a muito duros no estado seco.

Em relação à micromorfologia dos solos foram observados nos horizontes do LVdf distribuições enáulicas sendo convertidas em porfíricas, em virtude do aumento na cimentação do material grosseiro pelo material fino, ocupando inclusive os espaços porosos maiores e indicando rearranjo de partículas, acompanhadas de redução da porosidade total. A distribuição porfírica refere-se a zonas adensadas indicativas de instalação de processo de compactação. Nos perfis 1A (soja/cana fertirrigada), 2A (pasto/cana fertirrigada) e 6B (sucessão pasto/soja/cana não fertirrigada) a presença de zonas adensadas, principalmente nos horizontes superficiais, é compatível com processo de compactação. Porém, esta foi interpretada como moderada a fraca devido à descontinuidade dessas zonas compactadas porfíricas. Já nos perfis 1B (soja/cana não fertirrigada) e 2B (pasto/cana não fertirrigada) foi considerada como indicativa de forte compactação dos horizontes superficiais dos solos.

Morfologicamente o Latossolo Vermelho apresenta grande homogeneidade vertical, onde o horizonte B latossólico (Bw) se destaca por apresentar estrutura maciça porosa, relativa a uma estrutura granular forte, conhecida como microagregada (KERTZMAN, 1996). Nesses solos se observam estrutura em blocos pequenos, indicadores micromorfológicos de degradação, relativos à presença de numerosas

zonas de distribuição porfírica nos horizontes superficiais, características de compactação, com alterações na forma e no arranjo do espaço poroso, devido redução do tamanho e mudanças na forma dos poros, passando de intergranulares a fissurais finos, associadas aos blocos.

Nos LVd predominam as distribuições enáulicas e gefúricas, que se relacionam à microestrutura em blocos subarredondados pequenos e grumos pequenos de pedalidade forte a moderada, as quais estão associadas à pequenas zonas porfíricas adensadas que se encontram predominantemente nos horizontes A, AB, BA e Bw1 do perfil 5B (sucessão pasto/soja/cana não fertirrigada) e A e AB do perfil 4B (pasto/cana não fertirrigado), considerados de compactação moderada a fraca respectivamente.

Por fim, a compactação observada também foi associada ao manejo fortemente tecnificado da cana-de-açúcar, devido o fato de afetar os primeiros 15 cm. Os indicadores permitiram constatar degradação da estrutura compatível com compactação forte, moderada e fraca nos LVdf e LVd, e até o momento reversível desde que adotado manejo adequado no preparo para o próximo ciclo, pois que se tratar do 1º ciclo e 4º corte da planta cana-de-açúcar nesta microrregião.

Importante lembrar que os perfis de solo avaliados, independentemente do manejo com ou sem fertirrigação com vinhaça, foram preparados para o primeiro plantio de cana-de-açúcar de forma descompactante, logo, os dados reforçam a interpretação de que a compactação observada, a qual reduziu a qualidade física dos solos MRQ, resultam do uso atual com cana-de-açúcar, estando associados ao manejo com tráfego intenso de máquinas no preparo, cultivo e colheita, fatos corroborados por interpretações similares de vários autores.

### **Considerações finais**

A expansão recente da cana-de-açúcar na MRQ, posterior a 2004, alterou de forma bastante intensa a configuração da paisagem microrregional, devido à mudanças na forma de uso da terra, caracterizada pela substituição de áreas antes destinadas a culturas anuais (principalmente soja em rotação com milho), e secundariamente para a pastagens; contudo, promoveu também o deslocamento da soja para áreas tradicionais de pastagem extensiva como forma de recuperação do solo degradado.

Os Latossolos, largamente dominantes na MRQ, foram os principais solos focados no processo de ocupação com cana-de-açúcar, devido sua alta aptidão agrícola associada às baixas declividades e boas condições climáticas e de logísticas. Solos de textura argilosa (LVdf) foram escolhidos inicialmente, cultivados então com soja, embora apresentassem muito alto potencial de compactação. Em seguida foram incluídos os solos de textura média (LVd) com uso preponderante de pastagem e relativo a um alto potencial de compactação e degradação da estrutura. Portanto, não parece ter sido o potencial de compactação que definiu a seleção de áreas, mas sim o preparo anterior e a fertilidade dos solos.

A avaliação da qualidade física dos solos com uso de abordagem multiescalar no tempo e no espaço, bem como de métodos de análises (da paisagem ao

microscópico), se mostrou bastante satisfatória para a compreensão da dinâmica do processo de expansão. A seleção de áreas e perfis amostrais de solo contribuiu para um melhor entendimento do comportamento dos solos, comparando estes no início do processo de degradação pela cana-de-açúcar (primeiro ciclo) com as áreas de vegetação natural.

Os indicadores macromorfológicos, micromorfológicos e físicos, dentre os parâmetros escolhidos, revelaram-se eficazes para a demonstração dos diferentes graus de compactação, suas características e causas, destacando-se a macro e microestrutura, a consistência seca e úmida, a densidade do solo, a porosidade total e a distribuição relativa. Nesse sentido, densidades maiores, porosidades totais menores e consistências duras e firmes, associadas a estruturas em blocos e laminares e microestruturas porfíricas acompanhadas de porosidade fissurada fina, foram indicadores essenciais para a identificação de zonas adensadas/compactadas.

A compactação foi identificada nos horizontes superficiais de ambos os solos, porém foi mais forte no LVdf do que no LVd. Os perfis com compactação forte foram 2B e 1B; com compactação moderada foram 6B, 5B e 4B; com compactação fraca foram 1A, 2A e 3B; e os não compactados foram o 7C e o 8C; de um modo geral a compactação forte se associa ao manejo não fertirrigado com vinhaça e a compactação fraca ao manejo fertirrigado com preparo anterior do solo para cultivo de cultura de grãos, já os não compactados estão relacionados ao uso com cobertura vegetal natural preservada.

Os usos anteriores não se correlacionaram com o processos de compactação, devido preparo mecânico descompactante adotado, exceto para o perfil 2B do LVdf que o recebeu manejo durante estação úmida. Por outro lado, o manejo fertirrigado observado em perfis de LVdf, associa-se uma melhor qualidade estrutural dos solos (sobretudo da microestrutura), induzindo também menores valores de DS e RP, dando-se o oposto nos perfis não fertirrigados, independentemente do uso anterior, porém esse comportamento pode ser derivado também dos atributos dessa classe de solo, mais resistente e resiliente.

Os diferentes graus de compactação constatados nos solos cultivados com cana-de-açúcar na MRQ já são evidentes, embora na maioria moderados, provavelmente devido o fato da cana-de-açúcar se encontrar ainda no 4º corte do primeiro ciclo de cultivo e do LVdf ter recebido apenas uma fertirrigação com vinhaça. Nestas áreas a compactação esta associada ao cultivo altamente tecnificado da cana-de-açúcar, com uso de maquinaria pesada nas várias fases agrícolas.

## Referências

ABDALA, K.; CASTRO, S. S. de. Dinâmica do uso do solo da expansão sucroalcooleira na Microrregião Meia Ponte, Estado de Goiás, Brasil. In: Seminário Latino-Americano de Geografia Física, 6. 2010. Anais. Disponível em: [HTTP://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema3/klaus](http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema3/klaus). Acesso em 02 jul. 2010.

BORGES, V. M. S.; SILVA, A. A.; CASTRO, S. S. de. Caracterização edafoclimática da microrregião de Quirinópolis/GO para o cultivo da cana-de-açúcar. **Anais... VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia**. Recife, 2010.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011. Brasília: MAPA, 2006

BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soils**. New York, USA: Krieger R.E, 1976.

BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. **Handbook for soil the section description**. Waine research publications: 1985.

CANASAT – Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da Terra. INPE – Instituto Espacial de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/canasat/>> Acesso em 17 jan. 2012.

CARVALHO, A.; CHAUVEL, A.; GUIMARÃES, J.E.P.; MELFI, A.J.; NÓBREGA, M.T. Caracterização mineralógica, morfológica e geotécnica de alguns solos lateríticos desenvolvidos sobre basalto na Bacia do Paraná. Partes 1 e 2. In: **Simpósio Brasileiro de solos tropicais em engenharia**. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1982. Anais. Rio de Janeiro, CNPq-ABMS, 1982. p.356-380.

CASTRO, S. S. **Micromorfologia de solos**. Apostila do curso e material complementar. Campinas/Goiânia: UFG-IESA, UNICAMP-IGDGeo, 2008. p. 135.

CASTRO, S. S. de, BORGES, R. de O., SILVA, R. A. A. da, BARBALHO, M. G. da S. **Estudo da expansão da cana-de-açúcar no Estado de Goiás: subsídios para uma avaliação do potencial de impactos ambientais**. In: SBPC, II Fórum de C&T no Cerrado. Goiânia: SBPC, 2007.

CASTRO, S. S.; COOPER, M.; SANTOS, M. C. P. VIDAL TORRADO. **Micromorfologia do solo: Bases e Aplicações**. Tópicos de Ciências do Solo, c. 3. p.107-164. 2003.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento**, abril. Brasília: Conab, 2012. Disponível em: <[www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br)> Acesso em 24 abr. 2012.

COOPER, M. **Influência das condições físico-hídricas nas transformações estruturais entre horizontes B latossólico e b textural sobre diabásio**. 1999. 130 f. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. 2ª edição. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solos. Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.

KERTZMAN, F. F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um latossolo roxo provocadas pela compactação.** 1996 f. 216. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, 1996. p.152.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI R.; BERTOLINI D. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação das terras no sistema de capacidade de uso.** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. Departamento da Cana-de-açúcar e Agroenergia. **Relação das Unidades Produtoras Cadastradas no Departamento da Cana-de-açúcar e Agroenergia.** Posição 22/07/2009. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>> Acesso em 14 de nov. 2010.

MANZATTO, C. V.; ASSAD, E. D.; BACCA, J. F. M.; ZARONI, M. J.; PEREIRA, S. E. M. (organizadores). **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

NASSAR, A. M.; RUDORFF, L.B.A.; AGUIAR, D.A.; BACCHI, M.R.P.; ADAMI, M. Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes. In: ZUURBIER, P.; VOOREN, J.V. (Edit). 2008. **Sugarcane Ethanol: contributions to climate change mitigation and the environment.** Wageningen Publs. Wageningen: 63-94. p. 257.

NOVAES, A. S. S. AMARAL FILHO, Z. P.; VIEIRA, P. C.; FRAGA, A. G. C. Levantamento Exploratório dos Solos. In: **Projeto RADAMBRASIL**, Folha SE.22, Goiânia. Rio de Janeiro: 1983.

QUEIROZ NETO, J. P. de Geomorfologia e pedologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 01, nº 1, p. 59-67, 2000.

SANTOS, R. D. do; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos. Manual de descrição e coleta de solo no campo. EMBRAPA. 5ª Ed. Viçosa, 2005.

SEAGRO – Secretaria da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Portal do Agronegócio. Disponível em <<http://www.agronegocio.goias.gov.br/>>. Acesso em 20 out. 2010.

SILVA, A. A.; CASTRO, S. S. Dinâmica de uso da terra e expansão da cana-de-açúcar entre os anos de 2004 a 2010, na microrregião de Quirinópolis, Goiás. In:

- PIETRAFESA, J. P.; SILVA, S. D. de (org.). **Transformações no Cerrado: progresso, consumo e natureza**. Goiânia: Ed. Da PUC Goiás, 2011. p. 155-170.
- SILVA, A. A.; MIZIARA, F. A expansão da fronteira agrícola em Goiás e a localização das usinas de cana-de-açúcar. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, jul./set., v. 41, n. 3. p. 399-407, 2011.
- SILVA, M. A. S. da.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.11, n.1, p.108–114, 2007.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.15, n.2, p.229-35, 1991.
- STOLF, R.; FERNANDES, J. & FURLANI NETO, V. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar. **R. STAB - Açúcar, Alcool e Subprodutos**. v.1, p.18-23, 1983.
- STOOPS, G. Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin section. **Soil Science Society of America**. Madison, Wisconsin, 2003.
- VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S.S. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. **Tópicos em Ciências dos Solos**. v.4, p. 145 – 192, 2005.

---

Adriana Aparecida Silva

Professora do curso de Geografia da Universidade Estadual de Goiás – Campus Goiás. Possui doutorado e mestrado em Geografia pela Universidade Federal de Goiás.

Av. Dr. Deusdete Ferreira Moura s/n. Centro. 76000000 – Goiás-GO.

E-mail: ueg.adriana@gmail.com

Selma Simões de Castro

Professora titular do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás. Possui graduação em Geografia pela Universidade de São Paulo, mestrado e doutorado em Geografia Física também pela USP, e pós-doutorado em ciência do solo no INRA-Rennes (França).

Campus Samambaia, 74001970 - Goiânia, GO. Caixa-postal: 131.

E-mail: selma.castro@uol.com.br

---

Recebido para publicação em julho de 2014  
Aprovado para publicação em setembro de 2014