Potencial e risco à compactação dos solos da microrregião de Quirinópolis, sudoeste do estado de Goiás

Potencial y riesgo para la compactación del suelo de la microrregión de Quirinópolis, sudoeste del estado de Goiás

Soil compaction potential and risc of Quirinópolis microregion, southwestern Goiás state

Adriana Aparecida Silva
Doutora em Geografia – IESA / UFG
Profª. do Curso de Geografia da UEG / UnU de Goiás
ueg.adriana@gmail.com

Selma Simões de Castro
Profª titular do Programa de Pós-Graduação em Geografia
do Instituto de Estudos Socioambientais – UFG
selma.castro@uol.com.br

Resumo

A cana-de-açúcar é considerada como uma cultura que induz alto potencial de compactação do solo, por utilizar máquinas pesadas nas várias fases do cultivo e na colheita. Além de prejudicial à própria cultura, a compactação pode causar outros problemas ao ambiente de produção, como erosão dos solos e suas consequências. Assim, a avaliação do potencial e risco de instalação do fenômeno deve ser considerada nos planos de uso e manejo dos solos, de modo a prever medidas mitigadoras a sua instalação. O objetivo deste trabalho é avaliar o potencial e o risco à compactação dos solos da microrregião de Quirinópolis, sudoeste do estado de Goiás, aonde a expansão da cana-de-açúcar vem se dando de modo acelerado desde 2004. Para tanto foram utilizadas ferramentas do SIG ArcGis 9.3 para cruzar informações sobre características do solos, declividade e uso da terra dos anos de 2004 e 2010, que serviram de base para elaboração dos mapas de potencial e risco à compactação. Os resultados mostraram que a microrregião apresenta elevado potencial natural de compactação dos solos. Tal comportamento foi comprovado através de valores elevados e diferenciados obtidos em ensaios densidade do solo e de resistência mecânica à penetração.

Palavras chaves: *Saccharum spp*; Latossolo Vermelho; degradação do solo; SIGs.

Resumen

La caña de azúcar es considerada una cultura que induce un alto potencial para la compactación del suelo por la maquinaria pesada utilizada en diversas etapas de cultivo y cosecha. Además de dañar a la propia cultura, la compactación puede causar otros problemas en su entorno de producción, tales como la erosión del suelo y sus consecuencias. Por lo tanto, la evaluación del riesgo potencial de la instalación de este fenómeno se debe considerar en los planes de uso del suelo y gestión de la tierra, a fin de proporcionar la mitigación de su instalación. El objetivo de este estudio es evaluar el riesgo potencial y la compactación de los suelos de la micro-región de Quirinópolis, al suroeste del estado de Goiás, donde la expansión de la caña de azúcar ha estado yendo muy rápido desde 2004. Por lo tanto, se utilizaron herramientas SIG ArcGIS 9.3 para cruzar información sobre las características del suelo, la pendiente y el uso del suelo para los años 2004 y 2010, que fueron la base para la elaboración de mapas de riesgo potencial para la compactación del suelo. Los resultados mostraron que la micro-región tiene un alto potencial natural para la compactación del suelo. Este tipo de comportamiento se confirmó por los valores altos y diferentes que se obtienen de prueba de la densidad del suelo y la resistencia a la penetración.

Palabras claves: *Saccharum spp*; latosoles rojos; degradación del suelo; SIGs.

Abstract

Sugarcane is considered a type of culture that induces high potential compaction of the soil once it employs heavy machines during various cultivation phases and harvest time. Besides its damage to the culture itself, compaction might also cause other problems to the production environment, such as erosion along with its consequences. Thus, evaluating potential and the hazard of unleashing the phenomena have to be considered in the plans of management and use of the soil for this very purpose, in order to predict mitigating measures. The aim is to evaluate soil compaction potential and hazard of Quirinópolis micro-region, Southwestern of Goiás State, Central Region of Brazil, which had a rapid sugarcane expansion since 2004. For this it´s utilized the software ArcGis 9.3 to cross differente layers about soil characteristics, slope and land use for the years 2004 and 2010, considered the basis for the preparation of maps of potential risk to compaction. The results have shown that the micro-region has got high natural potential of soil compaction. Furthermore, high soil density values and mechanic resistence to penetration.

Keywords: *Saccharum spp*; Rhodic Hapludox; soil degradation; SIGs.

Introdução

A agricultura, quando mal praticada, pode levar à perda da capacidade produtiva do solo em médio e longo prazo, possibilitando a instalação de processos de degradação. Vários estudos destacam os impactos promovidos pela cultura da cana-de-açúcar ao meio ambiente, associados às diversas etapas do processo produtivo (PASQUALETTO; ZITO, 2000; MACEDO, 2005; UNICAMP/UNICA, 2005; FONSECA; KRUGLIANSKAS, 2008; EMBRAPA, 2011). Dentre os impactos associados ao cultivo da cana-de-açúcar diretamente relacionados aos solos está a compactação, causada pelo uso de maquinário pesado desde o preparo do solo, o cultivo, até a colheita mecanizada.

A compactação dos solos provoca alterações nas suas características naturais, com redução de seu volume e de sua macroporosidade, aumento da densidade e da resistência à penetração radicular, além de alteração do fluxo de ar, de calor e de disponibilidade de água e nutrientes para as plantas (CAMARGO; ALEONI, 1997; RIZZO, 2000; TRINDADE *et al*., 2008; REICHERT *et al*., 2010). Estudos específicos sobre a compactação em áreas com cultivo de cana-de-açúcar demonstram que o sistema radicular da planta tem seu desenvolvimento limitado pelo aumento na resistência à penetração, na densidade do solo e redução da porosidade total, com aumento relativo da microporosidade em relação à macroporosidade (CENTURION *et al*., 2001; SOUZA *et al*., 2005; SEVERIANO *et al*., 2010). Como consequência, em decorrência da redução no suprimento de oxigênio, a absorção de nutrientes é menor e a planta se torna mais suscetível a doenças, sobretudo nos períodos de estiagem (CASAGRANDE, 2002; OTTO *et al*., 2010).

A literatura indica que culturas de ciclo curto, como a soja, costuma ser mais impactantes do que as de ciclo longo, como a cana, em virtude do manejo envolvendo práticas de irrigação, além do preparo do solo com revolvimento anual, apesar do uso de práticas mecânicas que afetam a sua estrutura (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). No caso da cultura da cana-de-açúcar, o ciclo é prolongado, de 12 a 18 meses para o 1º corte (cana de ano e cana de ano e meio, respectivamente), chamado de cana, seguido de uma sucessão de colheitas anuais que podem chegar a 5º ou mesmo 6º cortes, chamadas de soca para o 2º ciclo e de ressoca para os demais. No entanto, assim como a soja, a cultura da cana também utiliza

frequentemente de maquinário pesado no preparo do solo, no cultivo e principalmente na colheita (CAMARGO; ALLEONI, 1997). Uma carregadeira de cana, por exemplo, pode causar compactação em até 10 cm de profundidade, já um sistema de transporte via "biminhão", em que as carrocerias podem levar até 30 toneladas cada uma quando cheia, podem chegar a até 30 cm de compactação em uma única passada (CASAGRANDE, 2002).

A microrregião de Quirinópolis (MRQ) situada no sudoeste do estado de Goiás é considerada como um cenário representativo do processo recente de expansão da cana-de-açúcar em Goiás (CASTRO *et al*., 2010). Esta se destaca pela elevada concentração de usinas/destilarias de açúcar e álcool, apresentando sete unidades industriais. O cultivo da cana-de-açúcar nesta microrregião se iniciou após 2004, com primeira safra colhida em 2006/2007, sendo que esta região se destinava antes ao cultivo de grãos (milho e soja) em áreas de Latossolos Vermelho distroférricos (LVdf) e de pecuária extensiva, nos Latossolos Vermelho distróficos (LVd) (SILVA; CASTRO, 2011). Tais solos apresentam horizontes homogêneos, textura argilosa a média, estando associados a relevo plano ou suave ondulado, sendo, por isso, considerados como naturalmente favoráveis à compactação. Além disso, quando submetidos a cultivos intensivos com sucessivas arações ou gradagens, sofrem uma compactação subsuperficial, chamada de pé-de-arado ou pé-de-grade, a qual favorece o encrostamento superficial e aumenta consideravelmente a suscetibilidade à erosão, além de diminuir a produtividade (EMBRAPA, 2006).

A literatura indica que o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permite o cruzamento de informações decorrentes de dados de campo ou de produtos cartográficos, gerando, dentre outros, mapas de previsão (cenários) de impactos (ZACHARIAS, 2010). Considerando as características do solo e do relevo é possível construir um cenário do potencial de compactação, uma vez que são as características do solo e dos demais elementos da paisagem que vão determinar este potencial. Já a associação destes fatores, que vão compor também a capacidade de uso da terra, sendo cruzada com a discrepância entre uso e potencial de compactação possibilita a elaboração de cenários de risco à compactação. Este estudo propõe apresentar uma proposta metodológica para a avaliação do potencial e do risco à compactação dos solos, tendo como referência os anos de 2004 (antes da inserção da cana-de-açúcar) e

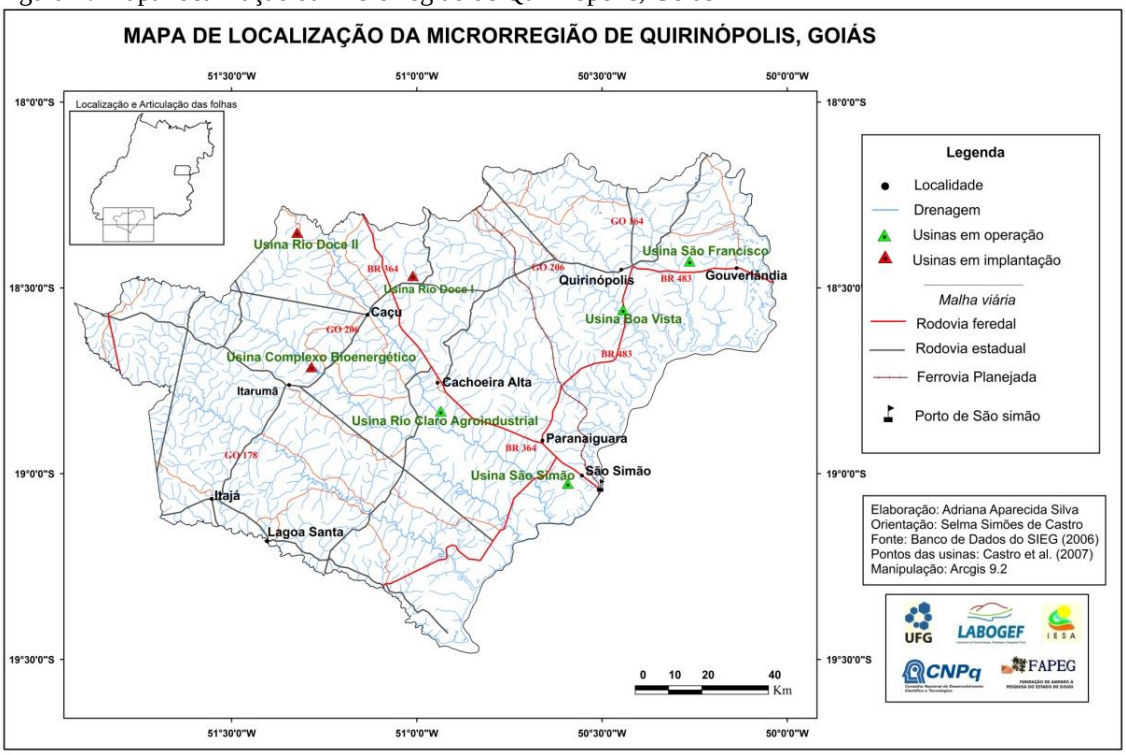
2010 (quando da efetiva expansão) na MRQ, área de expansão da cana-de-açúcar em Goiás.

Materiais e Métodos

Área de estudo

Pertencente à mesorregião Sul Goiano, a MRQ possui uma área total de 16.068,103 km², sendo composta por nove municípios: Cachoeira Alta, Caçu, Gouvelândia, Itajá, Itarumã, Lagoa Santa, Paranaiguara, Quirinópolis e São Simão (Figura 1). Apesar do processo de expansão recente, posterior a 2004, possui sete usinas instaladas (SILVA; CASTRO, 2011), sendo que destas quatro se encontram devidamente cadastradas junto ao Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento[1].

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



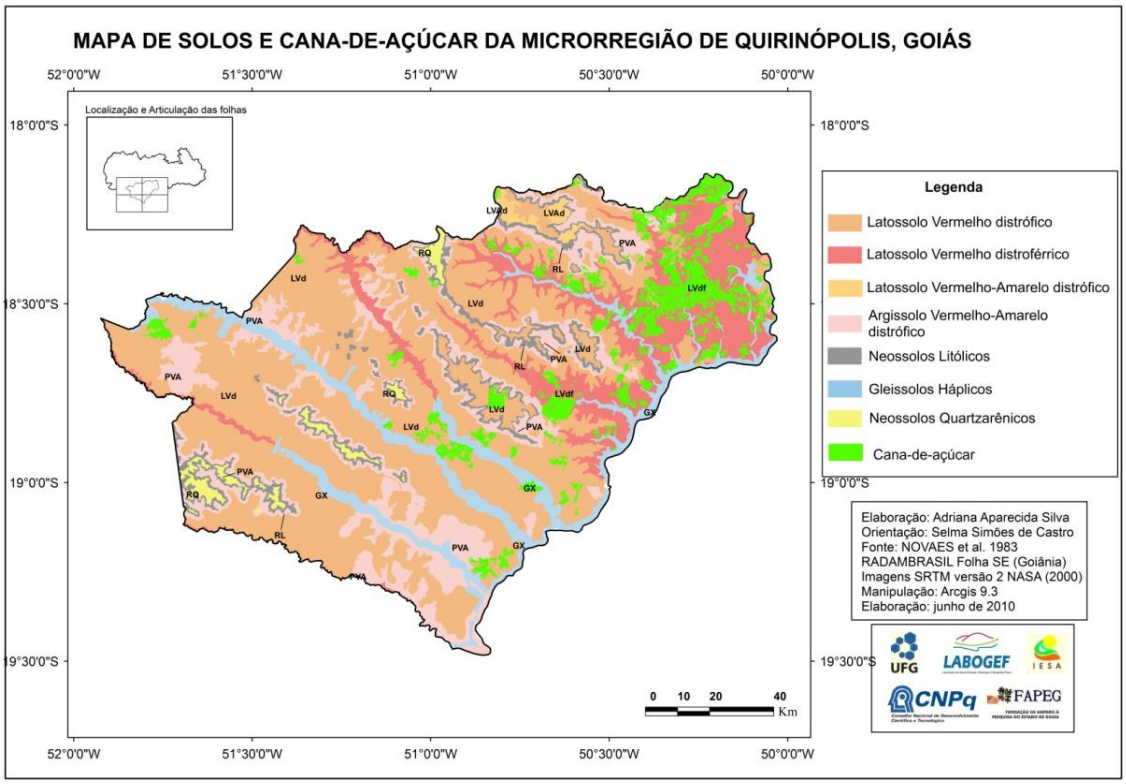
Compondo a paisagem, foram identificados cinco tipos de solos, sendo os mais representativos em termos de área os Latossolos (80,47%) com três subclasses Latossolos Vermelho distróficos de textura média em 48,76% da área, seguido do

[1] Usina São Francisco, Usina Boa Vista, Usina São Simão e Usina Rio Claro.

Latossolos Vermelho distroférricos de textura argilosa em 28,39% da área e do Latossolos Vermelho-Amarelo distróficos de textura média em 1,22%. Em seguida temos Argissolos Vermelho-Amarelos (11,68%) e, em menor proporção, os Neossolos Litólicos (3,40%), Gleissolos (3,24%) e Neossolos Quartzarênicos (1,21%). Os Latossolo Vermelho distróficos (LVd) e os Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf), sendo os mais representativos em área, foram os preferenciais no processo de expansão da cana-de-açúcar na MRQ.

A expansão da cana-de-açúcar na microrregião seguiu uma tendência de incorporação de áreas de leste para oeste. Em um primeiro momento, predominantemente entre 2006 e 2008, de modo praticamente contínuo no espaço, substituiu áreas de cultura anual, em geral soja, em solos do tipo LVdf de textura argilosa, situados no extremo leste da microrregião. Em seguida, entre 2008 e 2010 e deste ano em diante, propagou-se em áreas contíguas rumo oeste e sul da mesma, as quais apresentavam como uso a pastagem, preferencialmente em solos LVd de textura média (SILVA; CASTRO, 2011) (Figura 2).

Figura 2**:** Mapa de solos e cana-de-açúcar da microrregião de Quirinópolis, Goiás.



A microrregião apresenta formações geológicas constituídas por grupos litoestratigráficos de idade Jura-Triássica e Cretácea, como os basaltos Formação Serra Geral, do Grupo São Bento, que predominam a leste onde estão os LVdf e os arenitos das Formações Rio do Peixe e Marília, do Grupo Baurú, ao centro e ao oeste, que se associam aos LVd. As litologias do tipo arenito e argilito-arenoso dominam em praticamente toda a sua extensão, enquanto as rochas basálticas limitam-se a nordeste ao longo das falhas e fissuras, onde se instalaram os principais canais de drenagem (SOUZA JÚNIOR *et. al*., 1983).

Seu relevo pertence à Unidade Morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná, sendo representada por três níveis topográficos distintos (LATRUBESSE; CARVALHO, 2006). O maior corresponde à Superfície Regional de Aplainamento IIIB (SRAIIIB), variando de 650 a 750 m de altitude, com dissecação média, ocupando praticamente toda a MRQ. Segue-se a Superfície Regional de Aplainamento IVB (SRAIVB), na porção a nordeste da microrregião, mais baixa, variando entre 400 e 550 m de altitude, com dissecação fraca, associada em grande parte aos basaltos da Formação Serra Geral. Por fim, a Superfície Regional de Aplainamento IIB (SRAIIB), a mais elevada, como as Serras da Confusão do Rio Preto e a Serra do Rosa, com altitudes que variam entre 800 e 1000 m, além de outras de menor relevância regional, que apresenta menor expressão em área, dissecação de forte a fraca, configurando relevos tabulares residuais, isolados em meio à superfície anterior, estando próxima ao centro da MRQ.

Na área domina clima Tropical Quente Subsumido, do tipo Aw, com duas estações bem definidas e variações anuais significativas quanto à umidade, precipitação e temperatura. Apresenta chuvas de verão (outubro a março) e inverno seco (junho a setembro), com volume total de 1700 mm e uma amplitude térmica de cerca de 15º (AGRITEMPO, 2011).

Em relação às formações vegetais originais, ocorriam na MRQ formações do tipo Floresta Estacional semidecidual, sobre os solos argilosos (LVdf) e nas zonas aluviais com domínio dos Gleissolos háplicos (GX) e, no restante, as formações típicas do Cerrado (Savana Tropical), sobre os arenitos e solos associados (LVd e LVAd), caracterizados pelas fisionomias de Savana Florestada, Savana Arborizada, Savana Parque e Savana Gramíneo-lenhosa (WWF, 2004). Grande parte desta região, no

entanto, se caracteriza por apresentar área relativa a zonas de transição ou áreas de tensão ecológica entre a Floresta Estacional semidecidual e o Cerrado, as quais se localizam, principalmente, na porção noroeste da microrregião.

Metodologia

Em uma primeira etapa, utilizando ferramentas do ambiente SIG ArcGis 9.3 foi realizado o cruzamento de informações sobre características do solos e declividade, as quais serviram de base para elaboração do mapa de potencial de compactação dos solos. A metodologia para estabelecer classes de potencial de compactação foi assim implementada: 1º determinação de pesos para grau de influência que as características dos solos e do relevo possam apresentar; 2º definição de limiares (soma dos pesos) em associação às classes da legenda do produto final (Tabela 1). A legenda do potencial de compactação foi assim definida: potencial muito alto - peso de 6 a 8; potencial alto - peso de 4 a 5; potencial moderado - peso 3; potencial baixo - peso 2.

Tabela 1: Classe e pesos considerados no mapa de potencial de compactação da microrregião de Quirinópolis, Goiás.

Característica do solo	*Peso*	***Característica do relevo***	*peso*
muito argilosa	4	Plano	4
Argilosa	3	suave ondulado	3
Média	2	Ondulado	2
Arenosa	1	muito ondulado	1

Em uma segunda etapa, ainda em ambiente de SIG ArcGis 9.3 foi realizado o cruzamento de mapas temáticos para elaboração do mapa de risco à compactação dos solos. Foi utilizado o mapa de potencial de compactação, elaborado na etapa anterior, juntamente com mapa de uso do solo dos anos de 2004 e 2010 (SILVA; CASTRO, 2011) e de discrepância entre uso e capacidade de uso das terras de 2004 e 2010 (SILVA, 2012), o qual foi gerado a partir do cruzamento dos mapas de uso com o mapa de capacidade de uso da terra (SILVA, 2012). A metodologia para estabelecer classes de risco à compactação foi assim implementada: 1º determinação de pesos para os diferentes potenciais de compactação dos solos, uso da terra (2004 e 2010) e discrepância dos referidos anos; 2º definição de limiares (soma dos pesos) em associação às classes da legenda do produto final (Tabela 2). A legenda dos mapas de

risco à compactação foi assim definida: risco muito alto - peso de 7 a 12; risco alto - peso de 5 a 6; risco moderado - peso de 3 a 4; risco baixo - peso de 1 a 2.

Tabela 2: Classe e pesos considerados no mapa de risco a compactação da microrregião de Quirinópolis, Goiás.

Potencial de compactação	*peso*	***Uso da terra***	*peso*	***Discrepância***	*peso*
muito alto	4	cana-de-açúcar	4	muito alta	4
Alto	3	Pivô	4	Alta	3
Moderado	2	área urbana	4	Baixa	2
Baixo	1	cultura anual	3	Nula	1
		Pastagem	2		
		Vegetação	1		

Foram realizados estudos em campo, em áreas representativas da expansão da cana-de-açúcar, envolvendo os principais tipos de solos (LVdf com textura argilosa e LVd com textura média) e os usos anteriores da terra que foram substituídos, sendo cultura anual (soja) e pastagem. Os dados referentes às análises dos perfis de solos foram obtidos de acordo com metodologia proposta por Santos *et al*. (2005) e Embrapa (1997), sendo relativo aos parâmetros: estrutura, consistência, densidade e resistência mecânica à penetração (STOLF, 1991).

Resultados e Discussão

Potencial de compactação dos solos

O potencial indica a probabilidade de ocorrência em virtude de características naturais, no caso do potencial de compactação dos solos. Foram avaliadas as características relativas à textura, se muito argilosa, argilosa, média ou arenosa e sua homogeneidade ao longo do perfil, além das características do relevo, se plano, suave ondulado, ondulado ou muito ondulado (SANTOS *et al*. , 2005).

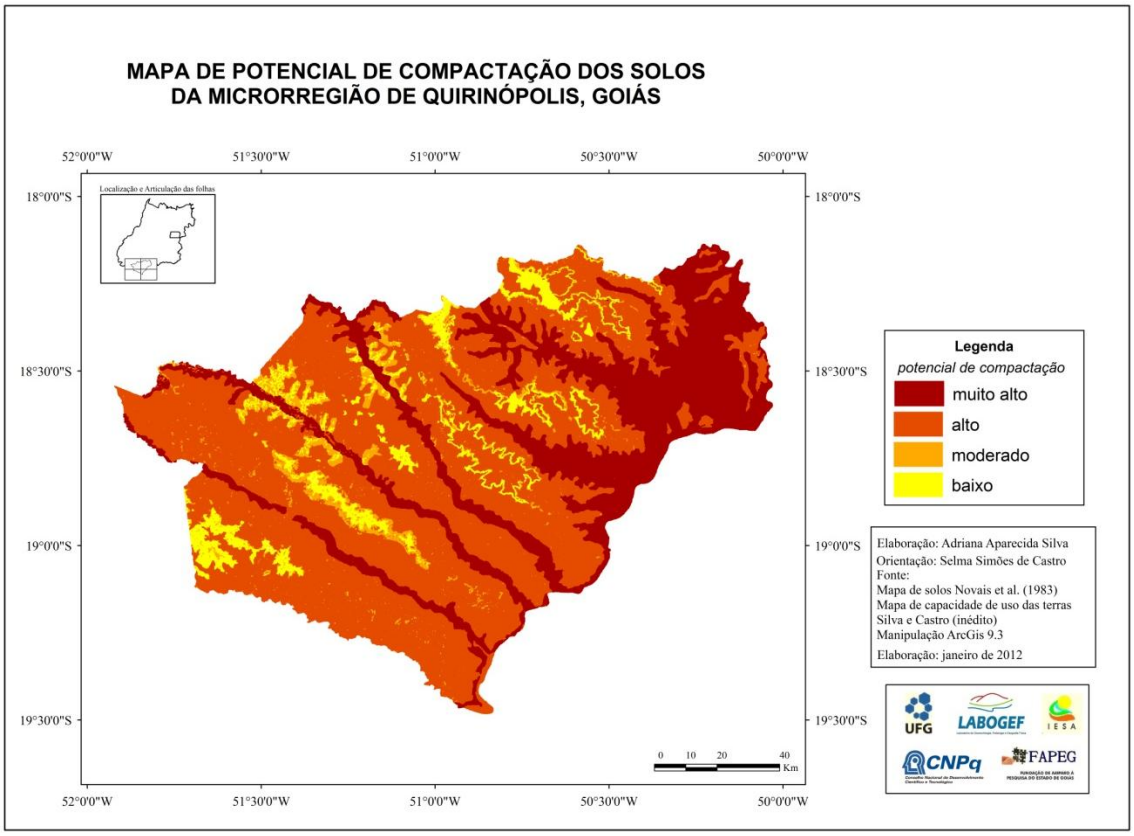
Foi observada para MRQ maior área relativa a um alto potencial de compactação em 1.071.772 ha correspondentes a 66,70% da área, associada aos LVd, LVAd e PVAd, áreas com relevo suave a suave ondulado e solos com textura argilosa a média. O potencial muito alto representa área de 511.831 ha ou 31,85%, relativo a solos do tipo LVdf, localizados em áreas com relevo suave e solos de textura muito argilosa a argilosa. As áreas com baixo potencial se referem a apenas 23.206 ha ou 1,45%, e se encontram associadas principalmente aos RQo e RQl em relevo ondulado e solos de textura média a arenosa (Figura 3, Tabela 3).

Tabela 3: Potencial de compactação dos solos da microrregião de Quirinópolis, Goiás.

Potencial	***Área em ha***	***%***
Muito alto	511.831,500	31,85
Alto	1.071.772,100	66,70
Baixo	23.206,700	1,45
Total	1.606.810,300	100

Apesar de a MRQ apresentar características favoráveis ao cultivo de cana-de-açúcar, uma vez que apresenta em maior parte das áreas relevo suave e solos com alto teor de argila, tais solos são também favoráveis à compactação. Se associadas às características naturais ao manejo com maquinário pesado do cultivo à colheita, prática comum neste tipo de cultura, ou, não raro, o manejo em períodos de alta umidade, tal potencial é ainda mais fortalecido.

Figura 3**:** Mapa do potencial de compactação dos solos da microrregião de Quirinópolis, Goiás.



Esse fato está associado principalmente à textura e à estrutura destes solos, uma vez que solos argilosos são naturalmente propensos à compactação, devido a sua alta plasticidade e coesão entre partículas, onde a resistência decresce com a umidade,

chegando à formação de estruturas laminares, devido à deformação da estrutura original (KERTZMAN, 1996; CAMARGO; ALLEONI, 1997). Importante considerar que Severiano *et al*. (2009) também encontraram suscetibilidade à compactação em Latossolos de textura média, quando estes apresentam estrutura granular, estando relacionada a altos conteúdos de umidade. Tal fato ocorre devido à baixa capacidade de suporte de carga, significando elevado potencial de degradação estrutural destes solos e, por isso, a instalação de processos de compactação.

Risco à compactação dos solos

Risco indica a probabilidade de ocorrência de eventos ou processos, associados à ideia de vulnerabilidade devido ao grau de conflito entre o potencial existente e os processos induzidos (CASTRO *et al*., 2005). No caso da compactação dos solos, considerando os diferentes potenciais observados no mapa da figura 3, associado à variação na discrepância entre uso e capacidade de uso da terra entre os anos de 2004 e 2010 é preciso avaliar o risco de compactação compatível com o uso da terra estes diferentes anos. Para tanto foram elaborados dois mapas de risco à compactação, sendo um primeiro relativo ao uso no ano de 2004, antes da instalação da cultura da cana-de-açúcar, e outro relativo ao ano de 2010, quando de sua efetivação na área.

Risco à compactação em 2004

A MRQ no ano de 2004 apresentou 395.959 ha ou 24,64% de área referente a um risco baixo de compactação, sendo estas relativas às áreas com potencial baixo a moderado de compactação, associada a baixa discrepância entre uso e capacidade de uso das terras. Áreas com risco moderado de compactação dos solos representaram 830.132 ha ou 51,66% sendo referentes a um potencial de compactação alto, porém, com discrepância de uso baixa, relativo principalmente ao uso pastagem, em áreas com capacidade B VI, ou seja, adaptado para pastagem (Figura 4, Tabela 4).

Figura 4: Mapa de risco à compactação dos solos da microrregião de Quirinópolis, Goiás – ano de 2004.

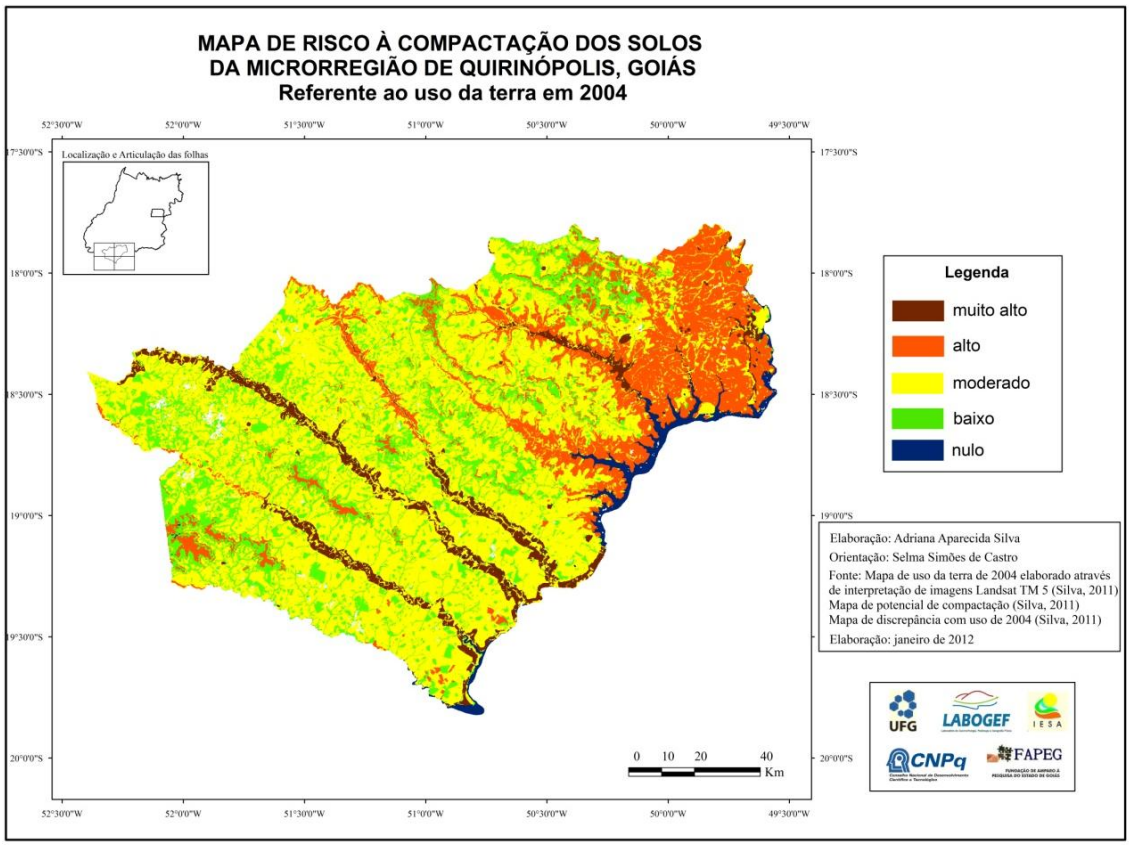


Tabela 4: Risco à compactação dos solos da microrregião de Quirinópolis, Goiás - ano de 2004.

Risco	***Área em ha***	***%***
Muito alto	97.583,200	6,07
Alto	221.286,400	13,77
Moderado	830.132,600	51,66
Baixo	395.959,900	24,64
Nulo	61.848,200	3,85
Total	1.606.810,300	100

Áreas com risco alto à compactação dos solos ocupavam 221.286 ha, ou 13,77%, as quais apresentavam muito alto potencial à compactação e discrepância variando entre baixa e alta. Já as áreas com risco muito alto neste período, representam 97.583 ha ou 6,07%, sendo relativas a potencial e discrepância muito alta, referindo-se às áreas com solos de textura argilosa e com capacidade de uso relativo à preservação da fauna e flora, porém destinadas ao uso agrícola. Áreas com risco nulo se refere essencialmente aos corpos d'água.

Risco à compactação em 2010

Para o ano de 2010 a análise do risco à compactação do solo considerou também as áreas com cultivo de cana-de-açúcar, que já representavam 7,23% da microrregião. Neste ano o uso da terra apresentou um risco muito alto à compactação, referente a 140.782 ha ou 8,76% da área da microrregião, estando associada a áreas de potencial e discrepância muito alta, relativos às áreas de cultivo de cana-de-açúcar. O risco alto representou 281.385 ha ou 17,51%, associado ao potencial muito alto e alto de compactação, onde as discrepâncias variam de baixas a altas, em áreas de cultura anual de soja ou milho. Chama a atenção o fato desse alto a muito alto risco de compactação estar concentrado a nordeste da MRQ, justamente onde se encontram os LVdf, que correspondem aos solos da maior aptidão agrícola e, por onde a cana-de-açúcar iniciou o seu processo de inserção na área, além de conter a maior mancha contínua da cultura em 2010 (Figura 5, Tabela 5).

Figura 5: Mapa de risco à compactação dos solos da microrregião de Quirinópolis, Goiás – ano de 2010.

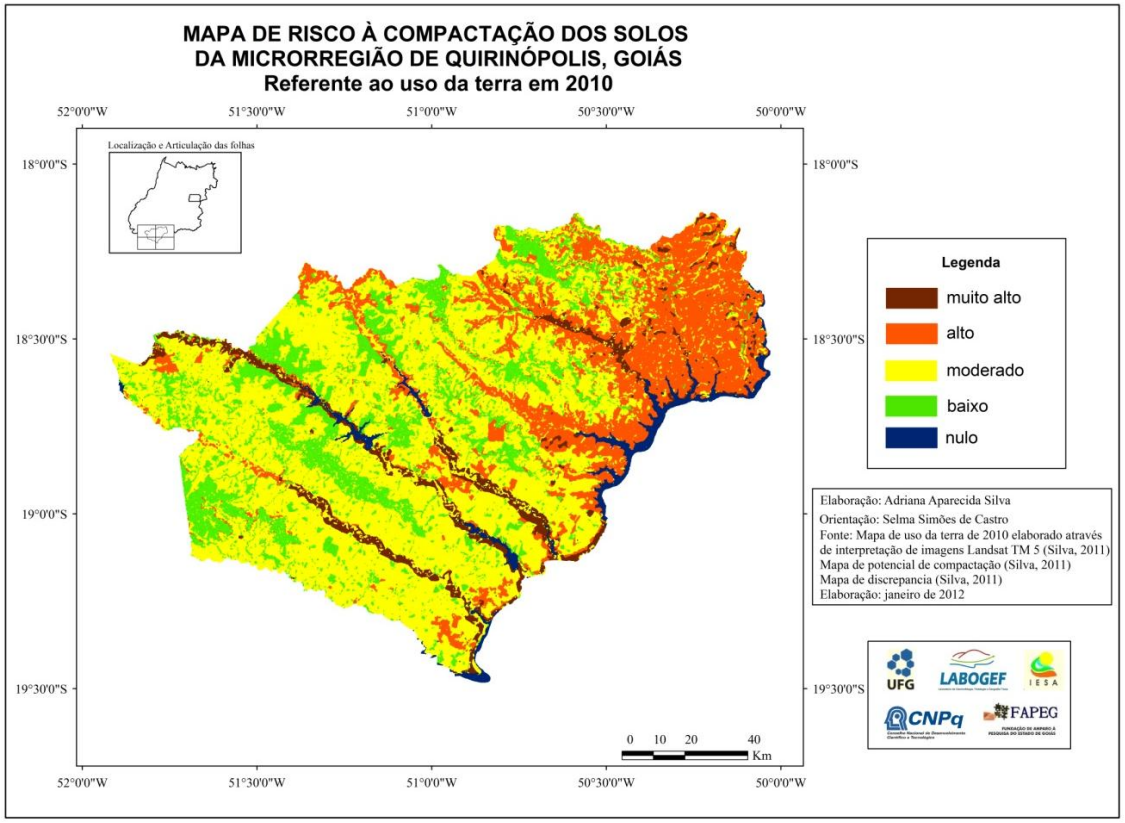


Tabela 5: Risco à compactação dos solos da microrregião de Quirinópolis, Goiás – ano de 2010.

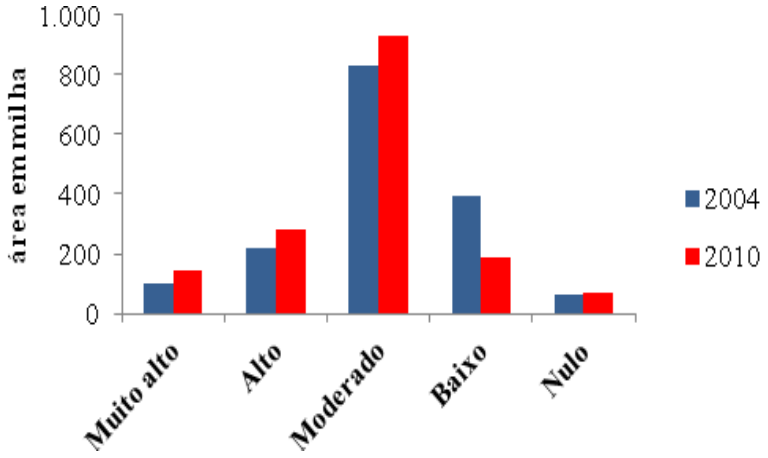
Risco	***Área em ha***	***%***
Muito alto	140.782,200	8,76
Alto	281.385,400	17,51
Moderado	928.928,600	57,81
Baixo	185.249,900	11,53
Nulo	70.464,200	4,39
Total	1.606.810,300	100

Áreas com risco moderado continuam sendo as maiores em termos de extensão, mas aumentaram em relação a 2004, representando desta feita 928.928 ha ou 57,81%. Tais áreas se referem às terras com potencial alto de compactação, porém com baixa discrepância entre uso e capacidade de uso da terra em 2010. São áreas onde predomina o uso com pastagem.

Por fim, áreas com risco baixo a compactação somam 185.249 ha ou 11,53% da MRQ, estando relacionadas ao potencial moderado a baixo e discrepância baixa entre uso e capacidade de uso das terras, sendo utilizadas geralmente para pastagem e vegetação natural. Áreas com risco nulo se refere essencialmente aos corpos d'água.

Considerando os anos analisados, 2004 e 2010, observa-se uma variação bastante importante do risco à compactação dos solos na MRQ, referente a um aumento nas classes de risco muito alto a moderado, com destaque para o risco moderado predominante nos dois anos analisado. Tal dinâmica se deve, em grande parte, à substituição de culturas que cederam lugar para a cana-de-açúcar, sendo a cultura anual em um primeiro momento e a pastagem em um segundo. Há ainda situações onde a pastagem cedeu lugar para a cultura anual, a qual em grande parte dos casos é praticada visando o preparo dessas áreas (degradadas ou não) para a cana-de-açúcar, prática bastante conhecida no setor (ABDALA; CASTRO, 2010). Foi observada uma redução do risco baixo de compactação neste período. A Figura 6 sintetiza o exposto.

Figura 6: Dinâmica do risco à compactação entre os anos de 2004 e 2010.



Pode-se considerar que no período analisado o cultivo da cana-de-açúcar influenciou na qualidade do solo, observado em decorrência de um aumento no risco à instalação de processos de compactação em todas as classes (Figura 6). Tal cenário é de certo modo preocupante, uma vez que ocorre em um curto período de seis anos.

O fator principal deste aumento no risco de compactação está associado à utilização de maquinário pesado nas diferentes fases de manejo, desde o preparo do solo até a colheita mecanizada, como já exposto, porém, observa-se que a cultura se instalou preferencialmente em solos com maior potencial natural de compactação, os solos argilosos (LVdf). Convém destacar que no caso da MRQ, o preparo do solo empregou máquinas para subsolagem, gradagem pesada, gradagem leve, carregamento e transporte de mudas, fertirrigação, além do uso de colheitadeira mecânica nas colheitas realizadas em 2008, 2009 e 2010, fato que em tese significou que o solo teria sido completamente descompactado antes do cultivo da cana. Logo, pode-se dizer que a cana está induzindo a compactação dos solos na região. Resultados da análise morfológica dos perfis de campo possibilitaram o estudo mais detalhado da condição do solo frente a alterações no manejo.

Avaliação de Parâmetros físicos

Foram realizadas análises da estrutura, consistência, densidade dos solos e testes de resistência à compactação em áreas cultivadas, os quais são comparados a dados obtidos em áreas com vegetação natural, aqui considerados como parâmetros identificadores de processos de comparação. As características de estrutura e consistência dos solos, apresentadas no quadro 1, enfatizam solos de textura argilosa (LVdf) e solos de textura média (LVd). Os perfis 1, 2, 3 e 4, aqui selecionados, apresentam alteração na estrutura, sendo que nos perfis 1, 3 e 4 se referem a blocos subangulares pequenos a médios, nos primeiros horizontes, passando a granular nos horizontes Bw2 do perfil 1. O perfil 2 apresenta estrutura laminar grande e forte no horizonte A e maciça/compacta forte no horizonte AB. Em relação à consistência esta se apresenta dura a muito dura em todos os horizontes dos perfis 3 e 4, assim com nos horizontes A, AB e BA dos perfis 1 e 2, passando a ligeiramente dura no Bw1 e macia no Bw2 do perfil 1. Tais dados permitem constatar que, no geral, há predominância de estruturas em blocos pequenos e consistência dura, exceto para o perfil 2 com estrutura maciça no horizonte AB, a qual se encontra totalmente compactado.

Quadro 1 – Estrutura e consistência dos solos da microrregião de Quirinópolis, Goiás.

	Estrutura/Consistência seca					
Horiz	Perfil 1 soja/cana LVdf	Perfil 2 pasto/cana LVdf	Cerrado LVdf	Perfil 3 soja/cana LVd	Perfil 4 pasto/cana LVd	Cerrado LVd
A	blocos subangulares médios/dura	laminar grande/muito dura	granular pequena	blocos subangulares pequenos/solta	blocos subangulares pequenos/solta	Blocos subangulare s pequenos
AB	blocos subangulares médios muito dura	maciça compacta muito dura	granular pequena	blocos subangulares pequenos dura	blocos subangulares pequenos muito dura	Blocos subangulare s pequenos
BA	blocos subangulares pequenos muito dura	_	blocos angulares grandes	blocos subangulares pequenos dura	blocos subangulares pequenos dura	Blocos subangulare s pequenos
Bw1	blocos subangulares pequenos ligeiramente dura	blocos subangulares médios ligeiramente dura	blocos angulares médios	blocos subangulares pequenos dura	blocos subangulares pequenos dura	Blocos angulares pequenos
Bw2	granular pequena macia	granular/pequena ligeiramente dura	blocos angulares grandes	blocos subangulares pequenos dura	blocos subangulares pequenos dura	Blocos angulares pequenos

A compactação do solo provoca um aumento na densidade do solo, que é considerada como a medida mais direta dos efeitos da compactação (PREDOTTI; MELLO JÚNIOR, 2009; CAMARGO; ALLEONI, 1997). No quadro 2 são apresentados os dados relativos à densidade de áreas dos perfis já apresentados. Em todos os perfis com uso atual cana-de-açúcar a densidade aparente aumenta, se comparados aos perfis de Cerrado. Nos perfis 1 e 2 do LVdf tal aumento é bastante expressivo em todos os horizontes, tanto superficial como subsuperficial, onde os maiores valores são encontrados nos horizontes A e AB, atingindo cerca de 50 centímetros de profundidade, o que pode estar relacionado ao pé-de-grade.

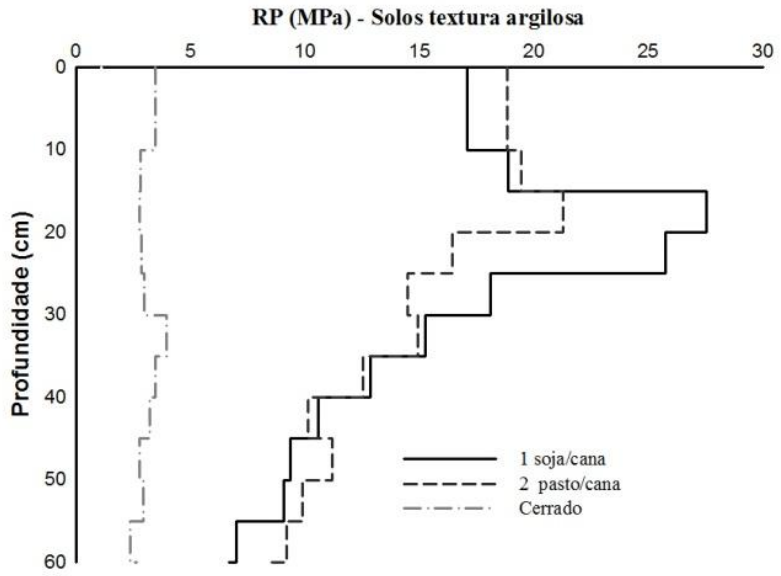
Já os dados dos perfis 3 e 4 do LVd também indicam aumento nos valores de densidade nos horizontes superficiais A e AB, sendo que no perfil 3 chega ao horizonte BA. É preciso ressaltar que a densidade do solo é maior nos solos com textura arenosa, sendo valores críticos acima de 1,85 g/dm^3.

Quadro 2 – Densidade dos solos da microrregião de Quirinópolis, Goiás.

LVdf – textura argilosa				LVd – textura média		
H	Perfil 1 soja/cana LVdf	Perfil 2 pasto/cana LVdf	Cerrado LVdf	Perfil 3 soja/cana LVd	Perfil 4 pasto/cana LVd	Cerrado LVd
A	1,28	1,50	1,16	1,69	1,64	1,63
AB	1,28	1,29	1,03	1,51	1,53	1,49
BA	1,13	-	1,00	1,52	1,44	1,47
Bw1	1,11	1,10	1,01	1,43	1,30	1,53
Bw2	1,06	1,05	0,98	1,43	1,40	1,53

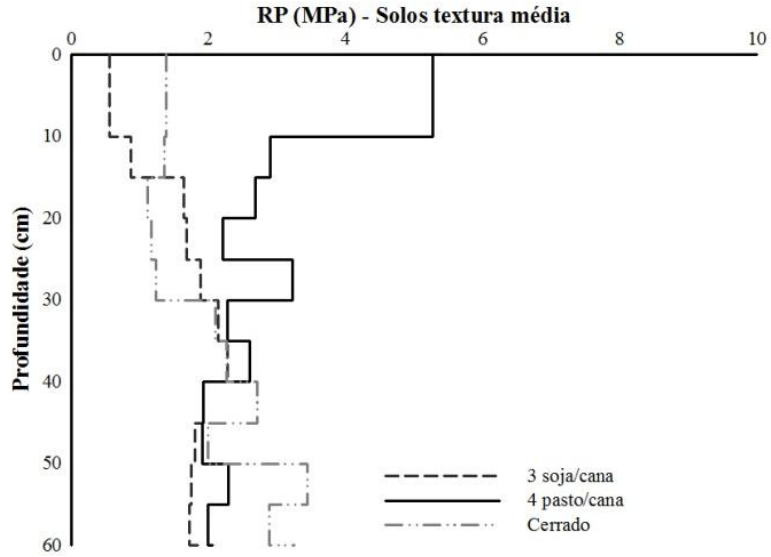
Outro parâmetro considerado é a resistência do solo à penetração (RP), a qual varia em função do teor de água no solo. Os valores encontrados são relativos a umidade de 11,57% para os LVdf e 15,16% para os LVd. Para os solos de textura argilosa. Nos LVdf os valores de RP no perfil 2 chegam a 28 MPa entre 15 e 25 cm, já no perfil 1 atinge o valor de 22 MPa entre 15 e 20 cm. Esses valores são considerados como relativos a uma muito alta resistência à penetração de raízes no solo sendo, bastante superiores aos encontrados no perfil Cerrado (Figura 7).

Figura 7 – Gráfico de resistência à penetração em solos de textura argilosa da microrregião de Quirinópolis, Goiás.



Para os solos de textura média, LVd, os valores de RP indicam que o perfil 4 apresenta a maior resistência, atingindo valores próximos a 6 MPa, considerado como relativos a alta resistência à penetração de raízes. Já o perfil 3 não apresentou evidências de compactação dos solos, uma vez que apresenta valores próximos aos encontrados no perfil de controle, Cerrado (Figura 8).

Figura 8 – Gráfico de resistência à penetração em solos de textura média da microrregião de Quirinópolis, Goiás.



Vale lembrar que apesar do uso anterior destes perfis serem diferenciados, sendo soja/cana e pasto/cana, para cada um dos tipos de solos estes apresentaram preparo do solo semelhante, tendo sido utilizado subsolagem, grade pesada e grade leve.

Considerações finais

Avaliando o potencial de compactação do solo na MRQ observou-se que, em virtude das características naturais do solo e do relevo da microrregião, onde predominam solos do tipo Latossolo de textura média a argilosa, associados a um relevo plano a suave ondulado, este potencial é elevado, abrangendo grande parte da área da microrregião. Destaca-se o potencial de compactação alto, relativo a 66,7% da microrregião, seguido do potencial de compactação muito alto, que representa 31,85% da área, ambos somando mais de 98% da área total.

Tais características potenciais, em decorrência do tipo de cultura inserida e das práticas de manejo associadas, podem efetivamente influenciar na instalação deste impacto no solo. No caso do cultivo da cana-de-açúcar, que faz uso de maquinário pesado no cultivo e na colheita mecanizada, o risco é eminente.

Em 2004 não havia áreas de cultivo de cana-de-açúcar na MRQ, na qual predominava o uso com pastagem, além do cultivo de soja em rotação com milheto. Já em 2010 a cana-de-açúcar ocupa 7,23% da microrregião, substituindo áreas de cultura de grãos e, principalmente, áreas de pastagem, sobretudo a nordeste e leste. Tais cenários levaram a um aumento do risco à compactação entre os anos de 2004 e 2010, onde os níveis alto e muito alto ampliaram em termos de área após a chegada da cana, saltando de 20% para cerca de 27%. As áreas com maior risco de compactação localizam-se na porção NE da área, onde estão os latossolos de textura muito argilosa (LVdf) e se expande para áreas com latossolos de textura argilosa a média (LVd), locais onde teve início a conversão canavieira em áreas antes com culturas anuais de grãos, principalmente soja, para posteriormente substituir áreas de pastagem.

Corroboram com estes resultados os dados morfológicos e analíticos de campo. Foram observadas alterações na estrutura e na consistência dos horizontes superficiais, assim como aumento na DS e na resistência à penetração, principalmente nos LVdf. As maiores alterações foram observadas, portanto, nos solos de textura argilosa, nos horizontes A e AB, a cerca de 30 cm em subsuperfície, sugerindo efeito do

pé-de-grade. No LVd a compactação também se instalou em superfície, o que pode estar relacionado à textura média e à substituição pasto/cana.

Tais dados justificam o aprofundamento dos estudos pedológicos do comportamento estrutural e analítico dessas duas classes de solo, LVdf e LVd, tendo como principal objetivo a prevenção na instalação de impactos.

Agradecimentos

Ao CNPq – Conselho Nacional de Pesquisa Científica pelo financiamento de programa de pesquisa.

A FAPEG - Fundação de Amparo à Pesquisa em Goiás, pela bolsa de formação durante o doutorado.

Referências

ABDALA, K.; CASTRO, S. S. de. Dinâmica do uso do solo da expansão sucroalcooleira na Microrregião Meia Ponte, Estado de Goiás, Brasil. In: XI Seminário Latino-Americano de Geografia Física, 2010. **Anais**. Disponível em: <http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema3/klaus>. Acesso: 2 julho 2010.

AGRITEMPO – **Sistema de Monitoramento Agroecológico. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento.** Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br> Acesso: 13 maio 2011.

BERTONI, J. LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2005.

CAMARGO, O. A., ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas**. Piracicaba: 1997.

CASAGRANDE, A. A. Compactação e manejo do solo na cultura da cana-de-açúcar. In: MORAES, M. H.; MULLER, M; M. L.; FOLONI, J. S. S. (Coord.). **Qualidade física do solo: métodos de estudo – sistema de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: FUNEP, 2002. p. 150 – 197.

CASTRO, S. S.; ABDALA, K; SILVA, A. A. BORGES, V. M. S. A expansão da cana-de-açúcar no Cerrado e no Estado de Goiás: elementos para uma análise espacial do processo. **Boletim Goiano de Geografia**. Goiânia, v.30 n.1, p. 171-191, 2010.

CASTRO, C. M. de; PEIXOTO, M. N. de O.; RIOS, G. A. P. do. Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas**. Anuário do Instituto de Geociências**. Rio de Janeiro, v. 28 n.2, p.11-30, 2005.

CENTURION, J. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.2, p.254-258, 2001.

EMBRAPA - **Informática Agropecuária** (2010) Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/> Acesso: 5 novembro 2011.

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.

FONSECA, L. F. L. da; KRUGLIANSKAS, I. (coord.) **Análise da expansão do complexo agroindustrial canavieiro no Brasil**. Brasília: WWF Brasil, 2008.

KERTZMAN, F. F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um latossolo roxo provocadas pela compactação**. 1996. 152 f. Tese (Doutorado em Geografia física) – Faculdade de Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

LATRUBESSE, M. E.; CARVALHO, M. T. **Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Goiânia: Secretaria da Indústria e Comércio, Superintendência de Geologia e Mineração, 2006.

MACEDO, I. C. **A Energia da Cana-de-açúcar – Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade**. São Paulo: Berlendis & Vertecchia, 2005.

OTTO, R.; SILVA, A. P.; FRANCO, E. C. A.; TRIVELIN, P. C. O. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development. **Soil & Tillage Research**, n. 117, p. 201–210, 2011.

PASQUALETTO, A.; ZITO, R. **Impactos ambientais da monocultura da cana-de-açúcar**. Goiânia: Ed. UFG, 2000.

PEDROTTI, A.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. **Avanços em ciência do solo**: a física do solo na produção agrícola e qualidade ambiental. São Cristovão, 2009. 212 p.

REICHERT, J. M.; REINERT, J. D.; SUZIKI, L. E. A. S.; HORN, R. Mecânica do solo. In: LIER, Q. J. V. (editor) **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 29 – 102.

RIZZO, L. T. de B.. **Indicadores de resiliência do Latossolo Vermelho Escuro cultivado com citros e eucalipto em Itapetininga-SP: recuperação de um solo degradado pela compactação**. 2000. 200 f. Tese (Doutorado em Geografia física). Faculdade de Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 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.

SEVERIANO, E. da C.; OLIVEIRA, G. C. de; DIAS JÚNIOR, M. de S.; CASTRO, M. B. de; OLIVEIRA, L. F. C.; COSTA, K. A. de P. Compactação de solos cultivados com

cana-de-açúcar: I - modelagem e quantificação da compactação adicional após as operações de colheita. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.3, p.404-413, maio/jun, 2010.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; CURI, N. DIAS JÚNIOR, M. S. Potencial de uso e qualidade estrutural de dois solos cultivados com cana-de-açúcar em Goianésia (GO). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 159-168, 2009.

SILVA, A. A. **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**. 2012. 136 f. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

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. PUC Goiás, 2011. p. 155-170.

SOUZA JÚNIOR, J. J. Mapa de Geologia. In: **Projeto RADAMBRASIL.** Levantamento de Recursos Naturais, 31. Folha SE.22. Rio de Janeiro: 1983.

SOUZA, Z. M. de; PRADO, R. de M.; PAIXÃO, A. C. S.; CASARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.3, p. 271-278, mar 2005.

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.

TRINDADE, T. P. da; CARVALHO, C. A. B. de; LIMA, D. C. de; BARBOSA, P. S. de A.; SILVA, C. H. de C.; MACHADO, C. C. **Compactação dos solos: fundamentos teóricos e práticos**. Viçosa: Editora da UFV, 2008.

UNICAMP/UNICA. Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético. Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo. **Relatório final**. Campinas, 2005.

WWF. **O Cerrado**. 2004. Disponível no site <http://www.wwf.org.br> Acesso em 14/ago./2011.

ZACHARIAS, A. A. **A representação gráfica das unidades da paisagem no zoneamento ambiental.** São Paulo: Editora da UNESP, 2010.

Recebido para publicação em outubro de 2013

Aprovado para publicação em novembro de 2013