

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
(MESTRADO)

**AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES FÍSICO-HÍDRICAS DECORRENTES DO
MANEJO AGRÍCOLA DA CANA-DE-AÇÚCAR NA COBERTURA
PEDOLÓGICA DO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS DO IVAÍ - PR**

Marcio José de Elias

Maringá - PR
Fevereiro de 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
(MESTRADO)

**AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES FÍSICO-HÍDRICAS DECORRENTES DO
MANEJO AGRÍCOLA DA CANA-DE-AÇÚCAR NA COBERTURA
PEDOLÓGICA DO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS DO IVAÍ - PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Estadual de Maringá, como requisito à obtenção do título de Mestre em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental, linha de pesquisa Análise Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Nakashima

Maringá - PR

Fevereiro de 2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

Elias, Marcio José de

E42a Avaliação das alterações físico-hídricas decorrentes do manejo agrícola da cana-de-açúcar na cobertura pedológica do município de São Carlos do Ivaí-PR / Marcio José de Elias. -- Maringá, 2015.

126 f, Il., color., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Nakashima.

Mestre (Mestre em Geografia)-
Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Pós-graduação em Geografia.

1. Geografia física. 2. Análise ambiental. 3. Ciências do solo. 4. Física do solo. 5. Compactação do solo. 6. Densidade do solo. 7. Perfil cultural do solo. 8. Comportamento hídrico. 9. Condutividade hidráulica. I.Nakashima, Paulo, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Pós-graduação em Geografia. IV. Título.

21.ed. 910.2

Cicilia Conceição de Maria

CRB9- 1066

AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES FÍSICO-HÍDRICA DECORRENTE DO MANEJO
AGRÍCOLA DA CANA-DE-AÇÚCAR NA COBERTURA PEDOLÓGICA DO
MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS DO IVAÍ-PR

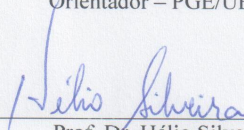
Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade
Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção
do grau de Mestre em Geografia, área de concentração:
Análise Regional e Ambiental, linha de pesquisa: Análise
Ambiental

Aprovada em 27 de abril de 2015.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Paulo Nakashima
Orientador – PGE/UEM



Prof. Dr. Hélio Silveira
Membro convidado
Universidade Estadual de Maringá



Prof.ª Dr.ª Sidneide Manfredini
Membro convidado
Universidade de São Paulo

Dedico

*A Deus, pelo dom da vida,
pela esperança de dias melhores
e pela estrada para seguir...*

...e ofereço

*a todos aqueles que de alguma forma
contribuíram para esse momento.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela vida e pela fé inabalável que me têm feito ir adiante independente do quão difícil isso às vezes pareça ser.

Agradeço ao meu pai José de Elias, pelos exemplos de vida e a perseverança nos objetivos traçados. A minha mãe Alzira Ciscoto de Elias, pela força e fé de que existirão dias melhores.

Agradeço ao Prof. Dr. Hélio Silveira por me apresentar a Pedologia, e pelos muitos ensinamentos que transcendem a ciência. Bem como a todos os professores que, pelo ensino, contribuíram para o meu amadurecimento para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos amigos: Manoela dos Anjos Coelho, Felipe Rodrigues Macedo, Sandra Betinelli da Costa, Paulo Miguel Terassi, Carlos Henrique das Graças, Rafael Gregoleta e Andre Barreiro, pelo apoio na bibliografia, no campo e no laboratório.

Agradeço especialmente ao Prof, Dr. Paulo Nakashima pela paciência, compreensão, tempo e ensinamentos que contribuíram sobremaneira para tornar este tempo agradável e produtivo.

E por último, porém não menos importante a minha esposa Josiani, âncora da minha vida, pela dedicação, compreensão e apoio nessa caminhada, pela doçura e carinho que me mantém com os pés no chão.

E a todos que, de alguma maneira, contribuíram para que esse momento acontecesse desta forma. Meu muito obrigado.

E novamente a Deus pela família, amigos e a estrada para percorrer.

Muito Obrigado.

No meu retrovisor.
Minha vida está ficando mais clara.
O por do sol suspira e lentamente desaparece.
Estas bugigangas já foram tesouros.
A vida muda com o tempo.
Você cresce, envelhece, ou põe o pé na estrada.
Então eu dirijo...
...finalmente eu encontrei meu caminho.
Digo Adeus ao passado.
Piso fundo, não há parada nesta rodovia perdida...

(Trecho da música “Lost Highway”,
Jon Bon Jovi)

AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES FÍSICO-HÍDRICAS DECORRENTES DO MANEJO AGRÍCOLA DA CANA-DE-AÇÚCAR NA COBERTURA PEDOLÓGICA DO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS DO IVAÍ - PR

RESUMO

Com o rápido desenvolvimento tecnológico no setor agrícola experimentado nas últimas décadas, o processo de degradação da cobertura pedológica têm se intensificado exponencialmente.

O município de São Carlos do Ivaí – PR, onde foi desenvolvido esse estudo, encontra-se atualmente com suas terras agrícolas cultivadas com a cana-de-açúcar, onde é desenvolvido um manejo tecnificado dependente do emprego de grande quantidade de máquinas agrícolas de grande porte.

Avaliou-se nesse estudo, como o Latossolo formado a partir da decomposição da rocha da Formação Caiuá, e o Latossolo formado a partir da decomposição da rocha da Formação Serra Geral estão reagindo ao uso e manejo empregado.

Para atingir esses objetivos, fez-se uso da metodologia do Perfil Cultural e análises físicas e químicas do solo, empregando as normas contidas no Manual de métodos de análise de solo (EMBRAPA 1997).

Os resultados obtidos indicam que o LATOSSOLO VERMELHO eutroférico típico textura argilosa, originado a partir da decomposição das rochas da Formação Serra Geral, contou com melhores condições em suas propriedades físicas se comparado ao LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico textura média, originado a partir da decomposição da rocha da Formação Caiuá.

No que se refere à densidade do solo, o LATOSSOLO VERMELHO eutroférico típico textura argilosa contou com os valores mais baixos se comparado ao LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico textura média, proporcionando os maiores índices de porosidade e conseqüentemente melhores condições de condutividade hidráulica sob condições naturais.

Com base nos resultados, pode-se apontar que o Latossolo textura argilosa, quando submetido ao manejo agrícola intensivo, apresenta maiores variações em suas propriedades físico-hídricas se comparado ao Latossolo textura média.

Diante da confrontação dos valores obtidos para as principais propriedades físicas do solo, observa-se que no Latossolo textura média o efeito da compactação é menor do que no Latossolo textura argilosa. Embora o Latossolo textura argilosa conte com melhores condições de propriedades físicas se comparado ao Latossolo textura média, o manejo agrícola altera mais seus valores.

Sendo assim, deve ser observado com extrema atenção às condições de umidade de solo no momento das operações do manejo da cana-de-açúcar, impactando o mínimo possível os volumes de solo e mantendo assim suas condições próximas do natural.

Palavras-Chave: Perfil cultural do solo, densidade do solo, porosidade total do solo, condutividade hidráulica do solo, propriedades físicas do solo.

Evaluation of hydro-physical changes resulting from agricultural management of cane sugar in the soil cover of São Carlos Ivaí-PR

ABSTRACT

With the rapid technological development in the agricultural sector experiencing in recent decades, the process of degradation of soil cover has intensified exponentially.

The municipality of São Carlos do Ivaí – PR, in which this study was developed, is currently with its farmland cultivated with sugarcane, where is developed a technified management, dependent on the use of large amount of large agricultural machinery.

It was evaluated in this study as the Latossolo formed from the decomposition of rock Caiuá Formation and Latossolo formed from the decomposition of the rock of the Serra Geral Formation are reacting to the use and employe management.

To achieve these goals, it was made use of the methodology of Cultural Profile and physical and chemical analyzes of the soil, using the standards contained in the Manual of soil analysis methods (EMBRAPA 1997).

The results indicates that the eutroferric RED OXISOL typical clayey, originated from the decomposition of rocks of the Serra Geral Formation, had better conditions in their physical properties compared to the dystrophic RED OXISOL medium texture, originated from the decomposition of rock formation Caiuá.

As regards, the bulk density the RED OXISOL eutroferric typical clayey had the lowest values compared to dystrophic RED OXISOL medium texture, providing the highest porosity rates and consequently better able to hydraulic conductivity under natural conditions.

Based on the results, we can point out that the Oxisol clay texture, when subjected to intensive agricultural management, has greater variations in their physical and hydraulic properties compared to medium texture Oxisol.

Faced with the confrontation of values obtained for the main physical properties of the soil, it was observed that in the medium textured Latosol, the effect of compression is less than the Oxisol clayey. Although, the Oxisol clayey count on better conditions of physical properties when compared to medium texture Oxisol, the agricultural management changes over their values.

Therefore, it should be noted with extreme attention to soil moisture conditions at the time of the management of sugarcane operations impacted as little as possible the soil volumes, thus maintaining your next natural conditions.

Keywords: cultural soil profile, soil bulk density, total soil porosity, hydraulic conductivity, soil physical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do município de São Carlos do Ivaí - PR.....	37
Figura 2 - Distribuição mensal das médias de Precipitações e Temperaturas nos anos de 1982 a 2012 da estação meteorológica de Paranavaí –PR. Fonte: Iapar-Simepar 2014.....	39
Figura 3 - Distribuição das unidades litoestratigráficas do município de São Carlos do Ivaí - PR.....	40
Figura 4 - Distribuição das unidades hipsométrica do município de São Carlos do Ivaí - PR.....	43
Figura 5 - Distribuição das unidades de declividade do município de São Carlos do Ivaí - PR.....	44
Figura 6 - Distribuição das classes de solo no município de São Carlos do Ivaí – PR.....	46
Figura 7 - Perfil esquemático destacando a estrutura de um segmento de Floresta Estacional Semidecidual no município de Maringá - PR, Fonte: Roderjan et. al. (2002).....	48
Figura 8 - Pontos de coletas de amostras para análises laboratoriais, São Carlos do Ivaí -PR.....	50
Figura 9 - Perfil cultural do Latossolo vermelho distrófico textura média da Formação Caiuá sob cobertura vegetal.....	58
Figura 10 – Variações da densidade do solo no Latossolo da Formação Caiuá sob vegetação.....	62
Figura 11 - Variações da porosidade do solo no Latossolo da Formação Caiuá sob vegetação.....	63
Figura 12 - Variações da condutividade hidráulica do solo no Latossolo da Formação Caiuá sob vegetação.....	63
Figura 13 - Variações das frações granulométricas no Latossolo da Formação Caiuá sob vegetação.....	64
Figura 14 - Perfil cultural do solo no Latossolo vermelho distrófico textura média da Formação Caiuá cultivado com cana-de-açúcar.....	66
Figura 15 - Variações das frações granulométricas no Latossolo da Formação Caiuá sob cultivo da cana-de-açúcar.....	72

Figura 16 - Variações da densidade do solo no Latossolo da Formação Caiuá sob cultivo da cana-de-açúcar.....	73
Figura 17 - Variações da porosidade do solo no Latossolo da Formação Caiuá sob cultivo da cana-de-açúcar.....	73
Figura 18 - Variações da condutividade hidráulica do solo no Latossolo da Formação Caiuá sob cultivo da cana-de-açúcar.....	74
Figura 19 - Perfil cultural do solo sob Latossolo vermelho eutroférico textura argilosa da Formação Serra Geral sob cobertura vegetal.....	83
Figura 20 - Variações da densidade do solo no Latossolo da Formação Serra Geral sob vegetação.....	86
Figura 21 - Variações da porosidade do solo no Latossolo da Formação Serra Geral sob vegetação.....	86
Figura 22 - Variações da condutividade hidráulica do solo no Latossolo da Formação Serra Geral sob vegetação.....	87
Figura 23 - Variações das composições granulométricas do solo no Latossolo da Formação Serra Geral sob vegetação.....	88
Figura 24 - Perfil cultural do Latossolo vermelho eutroférico textura argilosa da Formação Serra Geral sob cultivo de cana-de-açúcar.....	90
Figura 25 - Variações da densidade do solo no Latossolo da Formação Serra Geral sob cultivo de cana-de-açúcar.....	96
Figura 26 - Variações da porosidade do solo no Latossolo da Formação Serra Geral sob cultivo de cana-de-açúcar.....	97
Figura 27 - Variações da condutividade hidráulica do solo no Latossolo da Formação Serra Geral sob cultivo de cana-de-açúcar.....	97
Figura 28 - Variações das frações granulométricas do solo no Latossolo da Formação Serra Geral sob cultivo de cana-de-açúcar.....	98
Figura 29 - Composição granulométrica no Latossolo textura média da Formação Caiuá sob cobertura vegetal.....	105
Figura 30 - Composição granulométrica no Latossolo textura argilosa da Formação Serra Geral sob cobertura vegetal.....	106
Figura 31 - Densidade do solo nos Latossolos da Formação Caiuá e Formação Serra Geral sob cobertura vegetal.....	107
Figura 32 - Porosidade do solo nos Latossolos da Formação Caiuá e Formação Serra Geral sob cobertura vegetal.....	107

Figura 33 - Porosidade do solo nos Latossolos da Formação Caiuá e Formação Serra Geral sob cobertura vegetal.....	108
Figura 34 - Composição granulométrica no Latossolo textura média da Formação Caiuá sob cultivo de cana-de-açúcar.....	109
Figura 35 - Composição granulométrica no Latossolo textura argilosa da Formação Serra Geral sob cultivo de cana-de-açúcar.....	110
Figura 36 - Densidade do solo nos Latossolos da Formação Caiuá e Formação Serra Geral cultivados com cana-de-açúcar.....	111
Figura 37 - Porosidade do solo nos Latossolos da Formação Caiuá e Formação Serra Geral cultivados com cana-de-açúcar.....	112
Figura 38 - Condutividade hidráulica do solo nos Latossolos da Formação Caiuá e Formação Serra Geral cultivados com cana-de-açúcar.....	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Modo de organização do perfil cultural do solo.....	52
Quadro 2 - Estado interno dos torrões presentes nos diferentes modos de organização do volume de solo antropizado.....	53
Quadro 3 - Caracterização física do LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico textura média (Formação Caiuá) sob cobertura vegetal.....	61
Quadro 4 - Caracterização química do LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico textura média (Formação Caiuá) sob cobertura vegetal.....	61
Quadro 5 - Caracterização física do LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico textura média (Formação Caiuá) sob cultivo de cana-de-açúcar.....	71
Quadro 6 - Caracterização química do LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico textura média (Formação Caiuá) sob cultivo de cana-de-açúcar.....	71
Quadro 7 - Caracterização física do LATOSSOLO VERMELHO eutroférico típico textura argilosa. (Formação Serra Geral) sob cobertura vegetal.....	85
Quadro 8 - Caracterização química do LATOSSOLO VERMELHO eutroférico típico textura argilosa. (Formação Serra Geral) sob cobertura vegetal.....	85
Quadro 9 - Caracterização física do LATOSSOLO VERMELHO eutroférico típico textura argilosa (Formação Serra Geral) sob cultivo de cana-de-açúcar.....	95
Quadro 10 - Caracterização química do LATOSSOLO VERMELHO eutroférico típico textura argilosa (Formação Serra Geral) sob cultivo de cana-de-açúcar.....	95

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1	As características físicas do solo.....	14
2.2	Modificações antrópicas nas características físicas do solo.....	22
2.3	Modificações antrópicas nas características químicas do solo.....	25
2.4	Perfil cultural do solo.....	27
2.5	A cana-de-açúcar no Brasil.....	31
3	CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	37
3.1	Escolha e localização da área de estudo.....	37
3.2	Aspecto do meio físico.....	38
3.2.1	Clima.....	38
3.2.2	Substrato rochoso.....	39
3.2.3	Relevo.....	41
3.2.4	Solos.....	44
3.2.5	Vegetação.....	47
3.3	Aspecto histórico.....	48
4	MATERIAL E MÉTODO.....	49
4.1	Trabalho de campo.....	49
4.2	Método do Perfil cultural.....	51
4.3	Análises laboratoriais.....	53
4.4	Densidade aparente do solo.....	54
4.5	Densidade de partícula do solo.....	54
4.6	Porosidade total do solo.....	54
4.7	Microporosidade do solo (mesa de tensão).....	54
4.8	Macroporosidade do solo.....	55
4.9	Análise granulométrica.....	55
4.10	Condutividade hidráulica com carga constante.....	56
4.11	Análises de macronutrientes.....	57
5	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	57
5.1	Latossolo vermelho distrófico textura média.....	57
5.2	Latossolo vermelho eutroférico típico textura argilosa.....	82

5.3	Efeito do manejo agrícola sob as propriedades físicas dos solos textura média e argiloso.....	104
6	CONCLUSÃO.....	114
	REFERÊNCIAS.....	117

1 INTRODUÇÃO

O solo é definido como um conjunto complexo e dinâmico, composto por vários elementos que interagem e se influenciam mutuamente. Em condições naturais, as alterações de características físicas do solo ocorrem lentamente, originando o processo de evolução.

Entretanto, a ação antrópica que é exercida sobre o solo desde tempos remotos tem acelerado esse processo natural, que por sua vez, deixa de caracterizar-se como evolução para tornar-se degradação dos solos.

As ações antrópicas contribuem para a modificação do funcionamento físico-hídrico dos solos, intensificando esses processos, principalmente em regiões tropicais onde se desenvolve o cultivo de até três safras agrícolas anuais.

A modernização dos campos contribui para a crescente utilização de máquinas agrícolas em todos os processos operacionais, desde o preparo do solo até a colheita. Isso tem acelerado processos de alterações nas condições naturais dos solos, implicando principalmente em elevados índices de compactação e mudanças nas principais propriedades físicas do solo.

Com o aumento da compactação gerado pelo uso de máquinas agrícolas sob o solo, muitas vezes desrespeitando as condições ideais de umidade, é desencadeada uma série de outras mudanças nas características físicas do solo de uma região.

Dentre essas mudanças nas características físicas naturais do solo pode-se citar o aumento da densidade global, que causa invariavelmente uma redução da porosidade total afetando diretamente a capacidade de condutividade hidráulica dos solos.

Portanto, várias características físicas dos solos são suscetíveis à alterações provenientes ao uso e manejo agrícola inadequado.

O município de São Carlos do Ivaí, área de desenvolvimento da pesquisa, conta com uma produção de cana-de-açúcar altamente tecnificada, com o uso crescente de máquinas de grande porte em todas as operações de campo.

Ademais, o município de São Carlos do Ivaí apresenta uma grande variedade de solos devido ao fato de ser uma área de transição geológica, entre a Formação Caiuá e a Formação Serra Geral. Estes solos formados de materiais geológicos exigentes apresentam propriedades físicas, químicas e hídricas heterogêneas, o que demanda manejos agrícolas específicos a fim de maximizar seu potencial produtivo e também a sua conservação como recurso natural.

Com base no pressuposto de que os manejos agrícolas geram alterações nas propriedades físicas, químicas e hídricas dos solos, principalmente quando este manejo é realizado desconsiderando as condições ideais de operação, objetiva-se com esse estudo analisar o comportamento dessas propriedades em LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico textura média e LATOSSOLO VERMELHO eutroférico típico textura argilosa no município de São Carlos do Ivaí.

Para isso, propõe-se a aplicação do método do perfil cultural em LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico textura média e LATOSSOLO VERMELHO eutroférico típico textura argilosa para determinar o grau de compactação gerado pelo manejo da cana-de-açúcar, comparando-os com solos da mesma classe, porém recoberto por vegetação natural ou secundária.

Serão realizadas análises físicas, químicas e hídricas para a caracterização do comportamento dessas classes de solo e determinação do grau de influência exercido pelo manejo agrícola da cana-de-açúcar na cobertura pedológica do município.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 As características físicas do solo

A EMBRAPA (2013) define o solo como sendo uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, sendo ainda tridimensionais e dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos. Estes ocupam a maior parte da crosta superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados por natureza onde ocorrem.

As características físicas, químicas e hídricas do solo são fundamentais para a compreensão de uma série de fatores que imprimem condições únicas a horizontes e classes de solo, além de serem fatores determinantes na capacidade de condutividade hídrica, bem como na penetração das raízes das plantas, fertilidade do solo, densidade global, porosidade total, dentre outras características.

A forma de manejo agrícola empregado irá refletir diretamente sobre a suscetibilidade erosiva, transformação e degradação das propriedades dos horizontes do solo.

De acordo com Hénin et. al. (1960), além das características naturais dos solos que contribuem para definir boas condições de produtividade, sua fertilidade está relacionada

também com as características físicas, recaindo assim sobre os diferentes tipos de usos dos solos ao longo do tempo importância significativa, uma vez que os efeitos de uma má utilização podem afetar diretamente na qualidade física do solo e, por conseguinte, a sua produção vegetal.

Para Letey (1985), um solo que apresenta boa qualidade física do ponto de vista biológico deve possuir equilíbrio entre aeração e retenção de água, além disso, a resistência à penetração não deve ser impedimento ao crescimento e às funções fisiológicas das raízes das plantas.

Segundo Vidal-Torrados et. al. (2005), para os estudos das características físicas do solo produzirem melhores resultados e conseqüentemente maior aplicabilidade, é necessário o melhor uso possível de trabalho de campo, incluindo métodos geomorfológicos em adição à descrição dos perfis, bem como a caracterização de amostras de seus horizontes em laboratório. Para o autor, as descrições morfológicas efetuadas em campo colaboram, principalmente, para diferenciar os horizontes, possibilitando uma primeira classificação dos solos de acordo com características observadas.

Para Ruellan e Dosso (2005) a observação da morfologia dos solos deve preceder qualquer intervenção humana, ressaltando a importância da observação de como os constituintes encontram-se organizados, lateral e verticalmente, pois essas estruturas imprimem a história de formação, bem como suas propriedades e dinâmicas atuais, possibilitando interpretar as propriedades físicas, químicas e biológicas do mesmo, além de suas relações com os outros elementos do meio onde se inserem.

Através das observações realizadas na cobertura pedológica é possível classificar e indicar possíveis alterações existentes no solo. Do ponto de vista agrícola, Espindola (2008) vai além, afirmando que as alterações nas organizações internas do corpo, decorrentes do manejo agrícola, afetam as relações entre as propriedades físicas como a estrutura, porosidade, densidade, entre outras, apresentando maiores ou menores impactos, de acordo com a intensidade das práticas desse manejo.

A diferenciação entre os horizontes pode estar relacionada à variação textural, que nada mais é que a distribuição das partículas de argila, areia e silte de acordo com os seus tamanhos. Cada classe de solo se enquadra em uma designação específica referente à distribuição dessas partículas. Essa propriedade é de fácil verificação no campo, entretanto, para maior acurácia dos dados é necessário à realização da análise granulométrica em laboratório.

Reichardt e Timm (2004) ressaltam que a diferenciação textural está relacionada com a mineralogia do solo, sendo de extrema importância, pois é a distribuição e proporção entre estas partículas que conferem ao solo porosidade e arranjo de partículas características, influenciando suas propriedades hídricas, como condutividade hidráulica e a relação com a umidade e o potencial matricial, o que afeta direta ou indiretamente os processos de absorção de nutrientes pelas raízes das plantas.

Ainda sobre a importância textural, Bezerra e Santos (2003) afirmam que dentre as propriedades físicas do solo passíveis de observação em campo, a textura se mostra muito importante para o manejo, pois a mesma exerce influência sobre uma série de reações e processos físico-químicos que ocorrem, afetando a taxa de infiltração de água, a aeração, a capacidade de retenção de água e a distribuição de nutrientes. Além de exercer influência diretamente no ponto de aderência aos implementos de preparo e plantio, facilitando ou dificultando o trabalho das máquinas.

No que tange a diferenciações e unidades de solo, Espindola (2008) afirma que a cor é um dos atributos que primeiramente chamam a atenção do observador, pois é bem visível, e, portanto, muito importante no processo de diferenciação de horizontes.

Ruellan e Dosso (2005) afirmam que a cobertura pedológica é um meio colorido onde quase todos os solos apresentam variações verticais e laterais de cores, que podem ser progressivas ou rápidas, sendo que dentro de um mesmo horizonte a cor pode ser homogênea ou heterogênea. Através da carta de cores Munsell (MUNSELL COLOR COMPANY, 1975), criada com o objetivo de padronizar a classificação de cores a níveis mundiais, é possível proceder esta diferenciação.

Os principais compostos responsáveis pela coloração do solo de acordo com Resende et. al. (1999), são a matéria orgânica e os compostos de Fe, atuando, em geral, no fundo de cor branca proveniente dos silicatos.

A porosidade é uma propriedade física muito importante, sendo extremamente fundamental seu perfeito funcionamento, pois é através do meio poroso que a água necessária à manutenção das atividades biológicas do solo e da planta percola e armazena-se no mesmo. A porosidade é ainda responsável pela redistribuição de nutrientes no interior do solo, assim como controla a aeração, a capacidade de desenvolvimento das raízes e a migração da argila.

Para Mathieu e Pieltain (1997) a porosidade é responsável pela dinâmica das trocas gasosas entre o solo e a atmosfera, os funcionamentos quantitativos e qualitativos dos lençóis freáticos e dos rios, o desencadeamento da erosão superficial e interna e as condições ideais

para a produção agrícola, bem como a capacidade de evitar excesso de água, garantir a reserva da mesma, volume de solo explorado pelas raízes, dentre outros.

Já Kiehl (1979) afirma que o volume e a natureza da porosidade de um solo estão correlacionados com outras propriedades como a textura, a estrutura, a densidade aparente, a umidade, influenciando, portanto, direta ou indiretamente na infiltração, na permeabilidade ao ar e a água, na temperatura, na retenção da água e no crescimento das plantas.

A porosidade do solo recebe influência direta do aumento da densidade, o que segundo Borges et. al. (1998), ocorre com a aplicação de níveis de compactação proporcionando redução, de maneira linear, da porosidade total e do espaço de aeração.

Portanto, a manutenção da porosidade está relacionada com as práticas corretas de manejo agrícola, uma vez que sua diminuição relaciona-se ao aumento da pressão sobre o solo, que geralmente é ocasionada pelo peso excessivo dos maquinários utilizados para o manejo das culturas, principalmente monoculturas como soja, milho e cana-de-açúcar. O elevado grau de desenvolvimento tecnológico relacionado à mecanização agrícola tem produzido máquinas cada vez maiores e com pesos excessivos.

Para Kiehl (1979) o solo ideal é composto por metade do volume ocupado por minerais e a outra metade do volume composta por poros, sendo que a porosidade ideal é de $1/3$ para macroporos e $2/3$ para microporos. Essa divisão possibilita uma boa capacidade de aeração, infiltração, transporte, armazenamento e retenção, tanto de água quando de nutrientes.

Segundo EMBRAPA (1997), os macroporos compreendem poros com mais de 0,05mm de diâmetro, e os microporos apresentam dimensões menores que estas.

Com relação à porosidade, Brady (1989) chama a atenção para o fato de que qualquer fator que exercer influência sobre o tamanho e configuração dos poros do solo exercerá influência também sobre a capacidade de condutividade hidráulica, pois a relação de dependência entre essas duas propriedades é muito grande.

Outra importante característica física é a densidade, que é determinada pela razão da massa do solo seco por um volume conhecido, em outras palavras é o espaço que o mesmo ocupa incluindo os minerais e o espaço dos poros que são ocupados pelo ar e pela água. Esta propriedade está diretamente relacionada com a estrutura do solo, assim como com o arranjo e volume dos poros.

A densidade do solo é afetada pela sua estrutura e também por modificações antrópicas derivadas principalmente do manejo agrícola. De acordo com Reichert et. al. (2003), os valores de densidade considerados críticos residem entre 1,4 a 1,8g/cm³, em função do teor de argila, sendo que para solos argilosos esse valor reside entre 1,4 e 1,6 g/cm³, e para solos francos e arenosos fica entre 1,6 a 1,8 g/cm³.

No que diz respeito à inter-relação da densidade e a porosidade, Kiehl (1979) ressalta que de maneira geral, quanto mais elevada for a densidade aparente, maior será sua compactação, conseqüentemente menor será sua estruturação assim como sua porosidade total. Essas características levam invariavelmente a maiores restrições para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Segundo Michelin (2010) a densidade é uma variável que pode expressar o índice de compactação em que se encontra um solo, por isso é uma propriedade física muito utilizada nas avaliações do estado estrutural, principalmente no que se refere aos solos agrícolas.

Para Reichert et. al. (2003), a densidade está ligada intimamente à porosidade e se apresenta inversamente proporcional a mesma, ou seja, com a redução da densidade ocorre o acréscimo da porosidade e com o aumento da densidade ocorre a diminuição da porosidade.

Pelo fato de a densidade ser fator fundamental no controle da condutividade hidráulica, quanto menos denso for o solo, maior será o valor de percolação de fluido no seu interior, e quanto mais denso for o solo menor será sua capacidade de condutividade hidráulica, portanto são também valores inversamente proporcionais.

Para Sturmer et. al. (2009), o tipo de argila influencia na capacidade de condutividade hidráulica do solo, ou seja, solos que apresentam argilas expansíveis tendem a diminuir o tamanho dos poros e com isso, a condutividade hidráulica.

Segundo Camargo e Alleoni (1997), embora a densidade seja a medida quantitativa mais direta no diagnóstico da compactação, é importante ressaltar a influência exercida pela textura e estrutura nesses atributos. Com base nos valores de macroporosidade, é possível estimar o valor crítico de densidade associado com condições estruturais desfavoráveis ao pleno desenvolvimento das culturas e ao papel ecológico dos solos na paisagem.

De acordo com Azevedo e Dalmolim (2004), a densidade é geralmente utilizada como um indicativo da degradação das propriedades morfológica da cobertura pedológica, uma vez que o aumento da mesma está intimamente relacionado com a destruição da estrutura. Quanto

maior for a degradação da estrutura do solo, maior será a densidade do mesmo. Conforme esse mesmo autor, os valores considerados normais para a densidade são os compreendidos entre 0,95 e 1,80 g/cm³.

As propriedades físicas como a densidade, a porosidade total (que se divide entre macro e micro porosidade) e a textura, influenciam diretamente na dinâmica hídrica do solo. Alterações em qualquer uma dessas características se manifestam clara e rapidamente sobre a capacidade de condutividade hidráulica.

É extremamente importante entender a dinâmica dos fluxos hídricos superficiais e subsuperficial, pois a mesma tem grande importância para compreensão a respeito das transformações laterais e verticais que ocorrem nos solos, uma vez que esta é responsável pelos processos de perda, transferências e acumulações de materiais ao longo dos perfis e das vertentes.

A condutividade hidráulica por sua vez, influencia diretamente a capacidade de percolação dos fluidos no interior do solo, além de ser um parâmetro para representar a movimentação de água, solutos e substâncias químicas ao longo dos perfis. Tavares Filho et. al. (2006) ressalta que o valor máximo de condutividade hidráulica é atingido quando o solo está saturado.

Esta capacidade de condutividade hidráulica de acordo com Mesquita e Moraes (2004) são alteradas quando o tamanho e a configuração dos poros sofrem alterações, principalmente os macroporos que são os responsáveis pela movimentação dos fluidos ao longo do solo.

De acordo com Corsini (1974), dentre as várias propriedades físicas do solo, a condutividade é a que melhor indica as diferenças estruturais entre as camadas que constituem os perfis. Para Reichardt e Timm, a condutividade hidráulica depende também da fluidez da água assim como sua densidade e viscosidade, e da quantidade de macroporos que é diretamente ligado à textura e estrutura do solo.

Diante do exposto, Silva et. al. (2005) ressalta a importância da funcionalidade do sistema poroso como: quantidade, o tamanho, a morfologia, a continuidade e a orientação dos poros para o bom funcionamento da dinâmica hídrica do solo.

Fiorin (2008) ressalta que é de extrema importância o conhecimento das taxas de infiltração de água no solo, pois possibilita avaliar a quantidade que efetivamente percola, sendo armazenada no subsolo em forma de reserva para as plantas, assim como a quantidade que escoar superficialmente gerando ou acelerando os processos erosivos.

Brandão et. al. (2006), afirma que o manejo do solo, exerce influência direta na taxa de infiltração de água no mesmo, este fato se intensifica quando o manejo consiste na remoção da cobertura vegetal e na alteração de sua estrutura, como é comum ocorrer no preparo convencional. Esta forma de manejo leva invariavelmente a formação de uma camada encrostada na superfície, conhecido como selamento superficial, que conseqüentemente acarreta diminuição drástica na taxa de infiltração de água.

Contrapondo a esse sistema de manejo convencional do solo surgiu o sistema de plantio direto sobre a palha, que visa à conservação da estrutura e que mantém resíduos vegetais na superfície, preservado assim sua estrutura ao máximo, e mostrando-se, portanto, um sistema mais favorável aos processos de infiltração de água.

Reforçando esse entendimento, Coelho et. al. (2000-b) afirma que os resíduos vegetais preservados no sistema de plantio direto atuam como barreira física, aumentando a rugosidade sobre o solo, o que contribui para impedir que a água escoe livremente.

Corroborando com a afirmação de Santi et. al. (2006), de que a taxa de infiltração é uma variável ligada ao arranjo textural e estrutural do solo, Fiorin (2008) conclui, baseado em que a textura é pouco variável no tempo e pouco afetada pelo manejo agrícola empregado, que as modificações físicas estão associadas principalmente a sua estrutura, recaindo sobre a textura e a estrutura expressiva influência sobre a movimentação dos fluidos do solo, uma vez que elas determinam a quantidade, a forma e a continuidade da porosidade presente.

Ainda segundo Fiorin (2008), solos argilosos apresentam estrutura bem definida, sendo mais resistentes a degradação do que os solos arenosos, entretanto são mais suscetíveis a compactação.

Sobre a influência que a textura e estrutura do solo exercem sobre a capacidade de condutividade hidráulica, Azevedo et. al. (2007) afirma que em solos arenosos, a infiltração é mais rápida, entretanto ocorre pouca retenção de água pelo espaço poroso devido à grande predominância dos macroporos que possibilita a livre drenagem da água, tornado os solos com baixa capacidade de retenção de água. Em contrapartida, nos solos argilosos, geralmente a infiltração é mais lenta, contribuindo para a maior retenção de água, justificada pela presença maior dos microporos.

Devido à grande quantidade de variáveis que influenciam diretamente a capacidade de condutividade hidráulica, esta se comporta de maneira diferenciada em cada horizonte do perfil do solo.

Cunha (1996, 2002) e Martins (2000), ressaltam que a circulação hídrica e as condições de uso e manejo controlam a intensidade e a velocidade das modificações pedológicas e, por isso, de forma direta, interferem na distribuição espacial dos solos ao longo da vertente.

Já Zago (2000) salienta que propriedades físicas dos solos como a textura, estrutura, densidade e porosidade afetam o comportamento hídrico e estão relacionadas com todas as outras propriedades, principalmente químicas, físico-químicas e biológicas.

Segundo Mesquita e Moraes (2004), a condutividade hidráulica é um parâmetro que representa a facilidade com que o solo transmite água, sendo que o valor máximo de condutividade hidráulica é atingido quando ele se encontra saturado e é denominado de condutividade hidráulica saturada.

Sobre as condições de manejo agrícola influenciando sobre a capacidade de condutividade hidráulica de um solo, Coquete et. al. (2005) e Horn et. al. (2003) constataram que a condutividade hidráulica pode revelar diferenças entre sistemas de manejo, e que o incremento da pressão aplicada por máquinas agrícolas pode reduzir os valores de condutividade hidráulica.

Diante do exposto, pode-se concluir que a transferência de água no interior do solo é controlada principalmente pela estrutura e a textura, uma vez que a porosidade está intrinsecamente relacionada a estas duas propriedades.

Classes de solos com maiores teores de areias possuem uma condutibilidade hidráulica mais elevada do que os solos argilosos, assim como solos com estrutura granular possuem capacidade de condutividade hidráulica muito maior do que aqueles com estruturas instáveis, onde partículas de granulometria mais fina podem obstruir os poros.

Segundo Brady (1989) existe uma relação intrínseca entre o tamanho dos poros e condutividade hidráulica do mesmo, ressaltando que o fluxo de água sob condições de saturação é determinado por dois fatores principais: o primeiro deles é a força hidráulica que propulsiona a água ao longo dos solos, e o segundo é a maneira pelo qual os poros

possibilitam a movimentação da água. Este fluxo da água pode ser horizontal ou ascendente, mas sempre será mais rápido verticalmente devido à força da gravidade.

Além disso, Brady (1989) ressalta que a condutividade hidráulica depende da textura do solo. Quanto mais arenoso, mais rapidamente a água irá percolar nos poros, fenômeno esse que foi demonstrado e comprovado durante um ensaio de irrigação onde a água percorreu 150 cm de profundidade em 24 horas em solo franco-arenoso, enquanto em um solo franco-argiloso a água demorou 48 horas para percorrer os mesmos 150 cm.

A porosidade dividida em macroporos e microporos exerce função diferenciada na capacidade de condutividade hidráulica. Os macroporos são responsáveis pela percolação da água no solo, principalmente durante a reposição de águas, seja pelas precipitações ou irrigações. Já os microporos estão dispostos em forma de capilares contínuos de pequeno comprimento que se dirigem em muitas direções diferentes, e por terem um diâmetro bem menor em relação aos macroporos, tem maior capacidade de resistir à perda de água, tornando-se assim, reservatórios de água disponíveis para as raízes das plantas.

Este fator de percolação e armazenamento de água é comprovado quando se constata que em solos arenosos caracterizados pela quantidade maior de macroporos, o ponto de murcha permanente apresentado pelas plantas é mais rápido num período de seca do que em solos argilosos, caracterizados pela presença maior de microporos, responsáveis pelo acúmulo de água no interior do solo.

Portanto, é de extrema importância conhecer os tipos de poros, a conectividade entre eles, assim como a distribuição desses poros de acordo com o tamanho. É mais importante até mesmo do que determinar a porosidade total, pois esses fatores irão fornecer subsídios para a compreensão da condutividade hidráulica tanto no perfil quanto ao longo da vertente.

Confirmando essa alegação, Robain e Curmi (1986) provaram que para dois horizontes pedológicos caracterizados pelos mesmos constituintes, mas apresentando estruturas contrastadas, as curvas de retenção de água apresentavam formas bem diferenciadas.

Assim como Grimaldi e Boulet (1989), em solos da Guiana, constataram que o comportamento hídrico modifica-se de acordo com sua estrutura, ressaltando assim a importância dos macroporos para o fluxo hídrico subsuperficial.

2.2 Modificações antrópicas nas características físicas do solo

Com a exploração do solo o homem modifica o seu funcionamento, principalmente através do cultivo de duas a três safras anuais. A crescente utilização de máquinas agrícolas desde o preparo até a colheita, concomitante com o aumento do peso e potência desses equipamentos, tem contribuído para alterar as propriedades naturais dos solos, implicando na elevação da compactação e na mudança das principais características físico-químicas, hídricas e biológicas.

É cada vez maior o número de estudos demonstrando que o uso de implementos e máquinas pesadas, aliado as condições inadequadas de umidade, causam modificações nas condições físicas e hídricas dos solos, tais como: o acréscimo da densidade, a redução da porosidade e da permeabilidade, o que deixa evidente que a preocupação com esse tema tem crescido significativamente na atualidade.

Esta preocupação com o equilíbrio das condições naturais do solo se baseia no princípio de que, para a obtenção de produtividades agrícolas elevadas, é de extrema importância a manutenção da qualidade das propriedades físico-químicas do solo, proporcionando dessa forma, o melhor funcionamento físico-químico-hídrico e biológico do mesmo.

Com relação às ações antrópicas no solo, Queiroz Neto (2003) afirma que essas intervenções provocam sempre alguma forma de agressão sobre o ambiente, e a presença de sistemas agrícolas diversificados num mesmo contexto geográfico produz impactos também diferenciados.

A incorporação de novas tecnologias e principalmente de equipamentos que facilitam o cultivo podem representar ganho de produtividade, mais também podem ocasionar a degradação dos recursos naturais, pois a sua utilização nem sempre considera as condições do solo, relevo e clima da região, contribuindo assim para acelerar os processos erosivos e conseqüentemente, a degradação das propriedades físicas do solo.

Primavesi (1990) lista como principais causas de degradação do solo pelo cultivo: a aração profunda, que revolve o solo da superfície deixando-o instável; a ação da água, bem como o retorno deficiente da matéria orgânica ou sua incorporação em profundidade; a exposição da superfície do solo ao sol e impacto das gotas da chuva; a deficiência de cálcio e fósforo, e de outros nutrientes. A autora aponta também a monocultura como sendo a grande responsável pela degradação dos solos, uma vez que causa a uniformização da microvida e das excreções radiculares que se intensificam pela falta de rotatividade de culturas.

De acordo com Carpenedo (1985), o intenso preparo do solo ocasiona a destruição de sua estrutura, fato que se acentua pela exposição da superfície ao impacto das gotas de chuva, insolação e variações bruscas de umidade.

A diminuição do crescimento vegetal, de acordo com Primavesi (1990), pode ser associada diretamente com a água disponível no solo, assim como também a uma nova condição física que pode ser criada pelo uso intenso de máquinas no manejo agrícola, o que leva invariavelmente a falta de oxigênio explorado pelas raízes.

Com relação aos solos da região Noroeste do estado do Paraná, Silveira (1994) ressalta que a sua degradação se inicia com o plantio, que normalmente é realizado sobre áreas com pouca cobertura vegetal, mesmo na prática do plantio direto. Sob essas condições, os excedentes hídricos acarretam a lixiviação e a lessivagem das frações finas do solo, da matéria orgânica, dos macro e micros nutrientes, além de favorecer a erosão superficial do solo.

As modificações impostas a esta região, de acordo com Nakaschima (1999), decorrem principalmente da forma de ocupação antrópica que provocam alterações significativas na cobertura pedológica, na vegetação e também no modelado do relevo. As mais significativas e visíveis são a remoção da cobertura pedológica, aparecimento de sulcos, ravinas e voçorocas, o que gera o desequilíbrio pedobioclimático na região.

Continuando com esse raciocínio, Silveira (1994) afirma que essa degradação leva às mudanças nas características morfológicas, físicas e químicas dos solos, que se reflete de imediato na produtividade e em novos parâmetros ambientais, com destaque para os problemas de compactação e erosão do solo.

Sobre os processos erosivos associados ao uso do solo, Cunha (2002) afirma que nesta região, eles muitas vezes originam-se no fato de a urbanização e os projetos agropecuários não levarem em consideração a natureza arenosa dos materiais litológicos, o sistema de drenagem, a declividade da vertente, a profundidade do lençol freático entre outros aspectos.

Ainda sobre os processos erosivos, Cunha (2002) ressalta que, devido a grande variação da permeabilidade dos solos, que são muitas vezes ampliadas pelo bloqueio localizado da porosidade por efeito da translocação das partículas finas, cria condições para a instalação de fluxo hídrico acelerando a destruição das características originais dos horizontes, levando a sua transformação e, em estágio mais avançado, a sua degradação.

A compactação do solo gera grandes impactos na condutividade hidráulica assim como em várias outras propriedades físicas do solo, pois atua reduzindo o volume de poros do solo e também na redistribuição dos mesmos em vários grupos de tamanhos.

Segundo Dias Junior e Pierce (1996), a compactação contribui para o aumento da densidade do solo e sua resistência mecânica a penetração, diminui a porosidade total, o tamanho e a continuidade dos poros. Isso afeta de maneira negativa a capacidade de aeração e a troca gasosa, assim como a capacidade de condutividade hidráulica, a retenção de água no solo, as condições de penetração das raízes das plantas dentre outros processos químicos e biológicos.

Um dos principais reflexos da compactação do solo é sentido pelas plantas no desenvolvimento do sistema radicular, decorrente do impedimento mecânico da penetração das raízes. Segundo Dexter (1988), a compactação pelo tráfego de máquinas pesadas causa aumento excessivo na densidade, o que influencia diretamente no crescimento radicular e na capacidade de absorção de água e nutrientes.

De acordo com Borges et. al. (1988), os efeitos da compactação atingem também as atividades biológicas da fauna e microflora do solo, podendo afetar a decomposição da matéria orgânica e a mineralização de nutrientes para as plantas. Isso tudo tem causado perda de rendimento das culturas, principalmente quando ocorrem os chamados veranicos.

Segundo Tavares-Filho et. al. (2001), um diagnóstico qualitativo, que analisa a distribuição espacial das estruturas no perfil do solo, e quantitativo, que expressa o grau da compactação do solo, vem ganhando cada vez mais importância para auxiliar na verificação da qualidade do manejo, e é utilizado também no estabelecimento de limites de compactação que não afetem o crescimento radicular das plantas nos diferentes sistemas de manejo.

Sobre os fatores que exercem influência sobre o desenvolvimento das raízes das plantas, Pedrotti et. al. (2004) destaca a resistência mecânica do solo a penetração, pois a qualidade física pode ser determinada pelo grau da resistência que o mesmo oferece ao crescimento das raízes, sendo que em condições adversas, o sistema radicular fica limitado, o que implicará na redução da produtividade vegetal.

Klein e Libardi (2002) afirmam que em solos compactados, a deficiência de aeração e a resistência mecânica do solo à penetração das raízes, são fatores limitantes ao desenvolvimento das plantas, mesmo quando há água disponível.

2.3 Modificações antrópicas nas características químicas do solo

A fertilidade do solo, de acordo com Fontes e Alleoni (2006), é dependente de vários fatores e processos, destacando a textura, estrutura, conteúdo, tipo de mineral, matéria

orgânica dentre outros que, agindo conjuntamente, contribuem para suprir os nutrientes necessários a manutenção da cobertura vegetal, bem como a compreensão de fenômenos físico-químicos recorrentes em seu interior.

De acordo com Kampf e Curi (2003), características pertinentes à matéria orgânica como conteúdo e tipo, refletem a atividade dos agentes biológicos, fator importante para reciclagem de nutrientes. Os minerais de argila presentes indicam o potencial reativo do solo, bem como a interação da solução presente no solo com a superfície das partículas de argila.

Meurer (2006) chama a atenção para o fato de que solos menos intemperizados são mais férteis devido a elevados teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), o que contribui para uma elevada capacidade de troca de cátions (CTC), o que, ainda de acordo com o autor, é pouco frequente em solos tropicais devido às condições climáticas favorecerem a erosão hídrica interna.

Sendo assim, o intemperismo tropical favorece a acidez dos solos, o que ocorre com a perda de cátions básicos e o aumento do alumínio (Al) e hidrogênio (H), afetando muitas variedades de plantas que têm seu desenvolvimento restringido pela toxidez, pelo acúmulo de alumínio (Al), e pela deficiência de nutrientes. Pavan et. al. (1997) contribui para essa temática ao afirmar que a acidez do solo varia de acordo com a sua composição e reação de trocas iônicas apresentadas, bem como a hidrólise.

Portanto, a questão da acidez dos solos tropicais, muito comum no território brasileiro, não se apresenta como um fator limitante para o cultivo agrícola, uma vez que pode ser superada através da correção dessas características com a realização da aplicação de corretivos e fertilizantes.

Segundo Veloso et. al. (1992), o cultivo de solos ácidos requer aplicação de corretivos e adubos que elevem o pH e, conseqüentemente, neutralizem a toxidez causada pelo excesso do Al e aumente os índices de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e fósforo (P).

De acordo com Kaminski (2000), e Veloso et. al. (1992), a calagem é a prática mais comum utilizada no controle da acidez do solo, pois além de aumentar o pH e promover a neutralização do Al e H, contribui para o aumento da CTC e de cátions de Ca e Mg. Os corretivos mais utilizados são os que apresentam em sua composição hidróxidos, carbonatos e silicatos de cálcio ou magnésio, como o calcário dolomítico, calcítico, óxido de cálcio ou magnésio.

As ações antrópicas geram alterações significativas nas propriedades físicas, hídricas, químicas e biológicas do solo. Através do manejo agrícola, as relações naturais de equilíbrio

dessas propriedades perdem sua originalidade e funcionalidade, o que contribui para acelerar, em muitos casos, a degradação dos recursos naturais.

De acordo com Cerri et. al. (1991); Centurion et. al. (2001) Canellas et. al. (2003) as características químicas dos solos tropicais sofrem profundas modificações geradas por fatores como o manejo agrícola utilizado, as condições climáticas, além das características naturais do solo. Essas modificações podem ser aceleradas de acordo com a cultura implantada, o sistema de manejo, a fertilidade assim como a dinâmica dos nutrientes.

As alterações químicas provocadas pelo manejo agrícola variam muito de acordo com o sistema de cultura implantado, sendo assim, as alterações causadas, por exemplo, na monocultura da soja serão diferentes das causada pela implantação da cana-de-açúcar bem como as causadas por outra monocultura diferente.

Pesquisadores como Cerri et. al. (1991); Centurion et. al. (2001) Canellas et. al. (2003) concordam que as mudanças geradas nas características químicas naturais dos solos cultivados com a cana-de-açúcar concentram-se principalmente no carbono orgânico (CO), nitrogênio total (NT), acidez trocável, pH, bases trocáveis, CTC e fósforo.

Sobre o cultivo de cana-de-açúcar, Cerri (1986) afirma que o estoque de carbono (C) do solo decai rapidamente em relação ao sistema natural, isso se deve pelo cultivo contínuo de uma só espécie que costuma provocar o esgotamento do solo em determinados elementos, e quando o ecossistema natural é substituído por uma cultura submetida a um manejo intensivo.

Para a minimização dos efeitos de esgotamento de alguns nutrientes em detrimento da abundância de outros, fenômeno comum na monocultura sobre o solo, é aconselhado à realização da rotação de culturas, pois esta contribui para a alternância de espécies que possuem exigências nutricionais distintas, quantidade de material vegetal que retorna ao solo e a reciclagem de nutrientes diferenciados, além de explorarem diferentes regiões e profundidades.

2.4 Perfil Cultural do solo.

Nas palavras de Manichon (1982b), define-se por perfil cultural o conjunto constituído pela sucessão de camada de solo individualizada pela intervenção dos implementos de preparo, comportamento das raízes das plantas e influência de fatores naturais. O autor afirma que foi um erro por parte dos estudantes das ciências do solo proceder à comparação entre o método do perfil cultural e o perfil edafológico, uma vez que os objetivos e os resultados obtidos pelos métodos são diferentes.

Manichon (1982 b), afirma que o objetivo central do perfil edafológico é identificar os processos de formação do solo a partir do material de origem, mediante fatores bioclimáticos e estacionais, levando em conta suas propriedades físicas estáveis a fim de classificá-lo. Já o objetivo do perfil cultural leva em conta a ação humana direta e repetida ao longo de muito tempo sobre o solo, para assim obter um prognóstico e diagnóstico do sistema solo-planta. Sendo assim, em um único horizonte descrito pelo perfil edafológico podem existir vários horizontes antópicos.

Desta forma, pode-se concluir que as duas formas de observação se complementam na busca de um diagnóstico preciso das condições do solo, cabendo ao observador definir as estratégias e objetivos que pretende alcançar com o estudo.

Espindola (2008) afirma que as formas de manejo do solo são variáveis no tempo e no espaço, bem como de região para região tornando assim a avaliação de como estes sistemas de manejo atuam sobre os solos extremamente complexa.

O autor afirma ainda que sejam notáveis os efeitos do rodado das máquinas agrícolas que transitam na plantação durante as etapas produtivas, esses efeitos ocasionam modificações na organização estrutural do solo, de maneira diferenciada nas linhas e entrelinhas das culturas, sendo mais intensas nos locais diretamente atingidos pelos esforços provocados pela pressão das máquinas, criando assim, unidades estruturais diferenciadas num mesmo horizonte pedológico.

Com o objetivo de avaliar precisamente as alterações físicas do solo causadas pelos diferentes tipos de manejo, Hénin propôs na década de 1960 o método do Perfil Cultural, que tem como foco central a análise da estrutura do solo, levando em consideração os agregados e sua estabilidade diante do uso e manejo agrícola, representando assim um diagnóstico apropriado para estudos de qualidade dos solos e sustentabilidade dos sistemas de exploração (ESPINDOLA, 2008).

De acordo com Manichon e Gautronneau (1987), o perfil cultural se diferencia do perfil pedológico no sentido de que, enquanto o perfil pedológico procura identificar os processos de formação do solo a partir da rocha-mãe mediante fatores bioclimáticos e estacionais, o perfil cultural embasa sua metodologia na diferenciação das camadas de solo individualizadas pelo uso de máquinas agrícolas, bem como os instrumentos de cultivo, as raízes de vegetais e os fatores naturais reagindo a essas ações.

Para Hénin et. al. (1960), o perfil cultural se diferencia do perfil pedológico pela escala espaço-temporal ou de finalidade, pois com a caracterização de um perfil cultural

pretende-se diagnosticar e prognosticar características inerentes aos diferentes sistemas de cultivo e de populações vegetais.

Hénin et. al. (1976) aponta o perfil cultural como metodologia capaz de evidenciar as camadas que se diferenciam no solo, embora muitas vezes essas diferenças fossem devido às propriedades eventualmente susceptíveis de serem modificadas pelas intervenções do homem, a ação das raízes dos vegetais ou a influência do clima.

Portanto, trata-se de um método qualitativo que permite diagnosticar o estado estrutural do solo no campo, levando em conta a heterogeneidade do meio físico trabalhado, possibilitando a observação de alguns efeitos específicos, tais como os mecanismos de compactação e efeitos de implementos no solo, dentre outros. Para Blancaneaux et. al. (1991) o perfil cultural tem a capacidade de caracterizar um conjunto de propriedades morfoestruturais e físicas de um solo, e sua relação com a população vegetal introduzida através de operações culturais, respondendo apenas por um estado morfoestrutural característico de um momento determinado.

A descrição do Perfil Cultural permite definir um conjunto de características do solo que podem servir para estabelecer diagnóstico, bem como previsões a longo ou curto prazo sobre a evolução provável do perfil e suas consequências à população vegetal em função desta própria população e do tratamento cultural (BLANCANEUX et. al., 1991).

Este método tem se mostrado eficiente no estudo da variação estrutural e também no estudo das interações das características físicas, químicas e biológicas do solo, que são afetadas pela porosidade e movimentação da água (TAVARES *et. al.*, 1999). Para um diagnóstico mais correto, é essencial que se avalie, além do estado atual do solo, todo o histórico da área estudada.

Para Freitas e Blancaneux (1990) e Ralish et. al. (1991), é fundamental conhecer o solo a partir de observações morfológicas detalhadas em campo, pois isso facilita compreender seu funcionamento. Essa observação é possibilitada pela utilização da metodologia do perfil cultural, que identifica no solo unidades morfológicamente homogêneas permitindo a amostragem de setores do perfil do solo que revelam diferenciações.

Segundo Medina (1993), o perfil de manejo tem se revelado também como o meio mais adequado para sondagem dos locais de coleta de amostras para análises físicas, químicas e biológicas.

Através de observações de perfil cultural realizadas em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, Fregonezi e Espindola (2008) demonstraram perfis mais homogêneos nas áreas de

mata e de trigo em plantio direto, em comparação com a área de cana-de-açúcar, principalmente nos primeiros 30 cm de profundidade.

De acordo com Tavares Filho et. al. (1999) o método do perfil cultural é eficiente nos estudos da variação estrutural do solo, bem como nas interações das características físicas químicas e biológicas. Esta eficiência se deve, segundo o autor, ao fato de que a metodologia não considera apenas o estado físico atual do meio, mas também tenta resgatar o histórico de utilização até atingir um diagnóstico mais preciso.

Nas palavras de Tavares Filho et. al. (1999) a característica da metodologia do perfil cultural possibilita a orientação na amostragem do solo, levando em consideração suas diferenças espaciais, o auxílio no estudo dos efeitos de máquinas e implementos agrícolas no solo. Também apresenta facilidade na visualização das interações físicas, químicas e biológicas, além de se apresentar como meio de auxílio no estudo do sistema radicular das plantas.

Para Ralisch et. al. (1991), as observações dos perfis do solo a partir do método do perfil cultural, ou seja, uma observação criteriosa da morfologia do solo e das raízes, permite uma melhor compreensão da interação implemento-solo-planta.

Segundo Ralisch et. al. (1994), a metodologia do perfil cultural tem sua eficiência aumentada quando é acompanhado de dados de análises laboratoriais das amostras retiradas a partir das estruturas observadas nos perfis.

Tavares Filho (1995) conseguiu demonstrar com o auxílio da metodologia do perfil cultural, que o mesmo tipo de preparo do solo pode fornecer condições físicas variadas de acordo como a diversidade de classe de solo.

Alves (2010), empregando a metodologia do perfil cultural em diferentes formas de cultivo, conseguiu determinar que a cultura de cana-de-açúcar foi o que deu origem às maiores alterações. Dentre os solos avaliados sob o cultivo de cana-de-açúcar, verificou-se que no Latossolo e no Nitossolo, a camada que engloba a linha de plantio apresentou o menor valor de densidade e os melhores de porosidade, em detrimento das demais camadas presentes no perfil.

Ainda em sua investigação, Alves (2010) observou que os perfis sob o cultivo de soja/milho apresentaram uma camada mais porosa e menos densa nas linhas de plantio, geradas pela ação mecânica provocada por implementos no ato da semeadura e posterior ação das raízes, esse fato não pode ser constatado nas entrelinhas, onde foi encontrada uma camada mais adensada provocada pelo peso das máquinas e equipamentos agrícolas que transitam durante as operações de manejo.

Alves (2010) constatou que a variação das propriedades físicas do solo, principalmente no que se refere às camadas de adensamento que se formaram sob as linhas de cultivo da cana-de-açúcar, acaba por dificultar a penetração das raízes, reduzindo assim o volume de solo explorado pelas plantas, tendo como consequência a redução da capacidade de absorção de água e nutrientes.

De acordo com o estudo realizado por Alves (2010) em diferentes usos de solo, foi possível determinar que o sistema adotado para o cultivo de cana-de-açúcar se mostra muito mais agressivo que o da soja/milho. Dentre os solos analisados, aqueles com as maiores porcentagens de areia apresentam camadas mais densas que a dos solos com maiores teores de argila.

2.5 A cana-de-açúcar no Brasil

A cana-de-açúcar é uma planta da família *Poaceae*, gênero *Saccharum*, e foi introduzida no Brasil no início do século XVI com o advento das instalações e expansão dos engenhos de açúcar. O Brasil figura na atualidade como o principal produtor de cana-de-açúcar no mundo. Os produtos da cana-de-açúcar são largamente utilizados na produção de açúcar, álcool combustível e mais recentemente, biodiesel e bioenergia.

A cultura da cana de açúcar segundo Souza et. al. (2005), tem sido apresentada como uma das melhores opções dentre as fontes de energia renováveis, apresentando grande importância no cenário agrícola brasileiro e um futuro promissor no cenário mundial.

Devido à grande aceitação internacional do etanol como combustível e conseqüentemente a lucratividade alcançada pelo setor sucroalcooleiro, tem-se ampliado os investimentos em tecnologia pelas entidades produtoras de cana-de-açúcar, como reflexo, ocorreu uma rápida intensificação e expansão do setor.

Segundo Paulino et. al. (2004), a manutenção do rápido crescimento do setor, aliado a pressão pelo uso de fontes de energia alternativa aos combustíveis fósseis observada nas últimas décadas, vem fazendo com que os agrossistemas canavieiros sejam cada vez mais explorados com tecnologias baseadas no uso de máquinas agrícolas em todas as etapas do processo produtivo.

Já Souza et. al. (2005) destaca que dentre os fatores de produção relacionados com a modernização da cultura de cana-de-açúcar no Brasil, o crescimento da demanda pela colheita mecanizada vem ganhando expressão significativa, com especial atenção das indústrias produtoras de máquinas e equipamentos. Entretanto, o autor chama a atenção para o fato de

que esse tipo de colheita da cana-de-açúcar pode influenciar a produção e longevidade da cultura, os atributos físicos, químicos e biológicos do solo e o meio ambiente.

O avanço vivenciado pelo setor de modernização agrícola, principalmente os relacionados à colheita da cana-de-açúcar segundo Ramão et. al. (2007), vêm permitindo o uso crescente de colhedoras mesmo em terrenos que eram considerados impróprios para a mecanização.

A cana-de-açúcar tem grande relevância no agronegócio brasileiro, segundo Costa (2005), e apesar do Brasil se destacar no cenário internacional por toda tecnologia já empregada nas diferentes etapas de produção, a pesquisa científica ainda tem muito a contribuir para a maximização do processo produtivo, desde a lavoura até a industrialização.

A cana de açúcar surge como uma das melhores fontes de energia alternativa. Isto se deve, segundo Waclawovsky et. al. (2010), ao fato da mesma cumprir os critérios para a produção de bioenergia, que determina que a cultura deva apresentar crescimento rápido e produção de biomassa com alto rendimento na colheita, e em termos de energia produzida deve superar os combustíveis de origem mineral. Por isso a cana-de-açúcar é atualmente a cultura energética mais promissora.

O conhecimento da fisiologia da cultura é de extrema importância para a tomada de decisões com relação a sua implantação e manutenção, na escolha da região e do solo adequado. Os investimentos em pesquisas na cultura da cana-de-açúcar maximizam a disponibilidade de informações sobre a mesma.

A cana-de-açúcar, de acordo com Agrobite (2007), apresenta vasta adaptabilidade, sendo possível seu cultivo numa extensa área territorial compreendida entre os paralelos 35° de latitude Norte e Sul em relação ao Equador, o que mostra que o seu melhor desenvolvimento se restringe as regiões quentes do globo. O clima ideal é aquele que apresenta duas estações distintas: uma quente e úmida, para proporcionar a germinação, perfilhamento e desenvolvimento vegetativo, seguido de outra fria e seca, para promover a maturação e conseqüente acúmulo de sacarose nos colmos.

A cana-de-açúcar é uma gramínea semi-perene, de sistema radicular fasciculado e muito dependente das condições físicas e químicas dos solos até a profundidade de 80-100 cm (EMBRAPA 2009).

Ainda de acordo com Embrapa (2009), a manutenção da produtividade nos canaviais é dividida em dois momentos. Nos primeiros dois anos de cultivo, sua produtividade está mais relacionada às características químicas e físicas dos horizontes superficiais do solo e do

manejo agrícola. Após o terceiro corte, as características dos horizontes subsuperficiais influenciam mais na produção e produtividade da cultura.

Devido a essas características distintas de produtividade, a disponibilidade de água nos ambientes da cana-de-açúcar é um dos fatores que mais interfere no crescimento e desenvolvimento da cultura. Sob condições de déficit hídrico, ocorre redução do crescimento radicular, e isso leva invariavelmente a queda na produtividade, mesmo em solos com horizontes férteis.

Com relação aos fatores de maior importância no ciclo vegetativo da cultura, Rodrigues (1995) afirma que o teor de água, nitrogênio e potássio no solo, aliado a temperatura, são os fatores de maior importância na interferência do grau de crescimento vegetativo e maturação da cana-de-açúcar. Sendo a maturação o momento mais importante para a cultura do ponto de vista econômico, pois é onde há o maior acúmulo de sacarose no caule. O autor chama a atenção para o fato de que diferentes variedades de cana demonstram diferentes respostas à suscetibilidade e resistência ao potencial de água no solo.

Os fatores mais importantes que determinam a maturação da cana de açúcar são a baixas temperaturas, seca moderada e teores de nitrogênio no solo.

Segundo Azevedo (1981), durante a vida da planta a porcentagem de umidade diminui gradualmente, baixando de 83% para 71%. O teor de sacarose sobe de menos de 10% até mais que 45% do peso do material seco. A diminuição da temperatura tem efeito direto na absorção de nutrientes, a qual, se reduzida, diminui o desenvolvimento vegetativo e a maior parte dos açúcares produzidos é armazenada. Se ocorrer a diminuição da umidade do solo, há a redução do teor de água nos tecidos da planta, e a desidratação força a conversão de açúcares redutores em sacarose, gerando, portanto, prejuízos para as colheitas.

Sendo assim, pode-se constatar que todas as etapas de desenvolvimento da cana-de-açúcar estão intimamente relacionadas com as características físico-químico-hídricas dos solos, tornando extremamente importante a adoção de técnicas de manejo que minimizem a compactação, que tem como consequência, efeitos negativos sobre a capacidade de circulação hídrica na interior dos horizontes do solo. As circulações hídricas, além de fornecer água suficiente para o desenvolvimento e manutenção da fotossíntese, promovem a redistribuição dos nutrientes no interior do solo.

Diante do vasto crescimento apresentado pela cultura da cana-de-açúcar no país, a EMBRAPA (2009) propôs a criação de normas para a expansão em novas áreas. Essas normas culminaram no Zoneamento Agroecológico da cana-de-açúcar para a produção de etanol e açúcar, que tem como objetivo fornecer subsídios técnicos para formulação de

políticas públicas visando à expansão e produção sustentável de cana-de-açúcar no território brasileiro.

Por meio de técnicas de processamento digital este projeto de Zoneamento Agroecológico da cana-de-açúcar procedeu a uma avaliação do potencial das terras para a produção da cultura da cana-de-açúcar em regime de sequeiro, tendo como base as características físicas, químicas e mineralógicas dos solos expressas especialmente em levantamentos de solos e em estudos sobre risco climático, relacionados com os requeridos pela cultura.

Os principais indicadores considerados na elaboração do Zoneamento Agroecológico foram à vulnerabilidade das terras, o risco climático, o potencial de produção agrícola sustentável e a legislação ambiental vigente (EMBRAPA 2009).

Com a demanda mundial por fontes alternativas de energia, o Brasil assume posição de destaque em relação à produção de etanol, favorecido principalmente pelas condições edafoclimáticas que são propícias ao cultivo da cana-de-açúcar, o que faz com que haja uma expansão geográfica dessa cultura. Entretanto, paralelamente a esse crescimento, acontece um aumento significativo dos impactos ambientais decorrentes do manejo dessa cultura.

De todas as operações realizadas no manejo da cana-de-açúcar, a que mais causa impacto no solo é a colheita da cana, que pode ser realizada de duas maneiras: colheita manual, que faz uso da queima para limpeza da palha; e a colheita mecânica, que dispensa a queima. Ambas geram impacto. Enquanto a primeira contamina o ar, a segunda compacta o solo.

Souza (2005) destaca que após a Lei nº 9.073/2008, que se refere à eliminação gradativa da prática de queimadas nas colheitas de cana-de-açúcar, tem se intensificado a adoção do sistema de colheita mecanizada como alternativa às queimadas, com o uso de colhedoras autopropelidas. Estas máquinas cortam e trituram as folhas, bainhas e ponteiros da cana, além de uma quantidade variável de pedaços de colmo, e em seguida os lança ao solo, formando uma cobertura de resíduo vegetal denominada palha ou palhada, que mais tarde se converterá em matéria orgânica.

Segundo Macedo e Campos (2003), essa prática contribui para a conservação do solo através de uma maior reposição de matéria seca, uma vez que evita a queimada. Entretanto, essa mesma matéria seca pode causar problemas relacionados à proliferação de pragas que se abrigam e se multiplicam sob a palha.

Centurion et. al. (2007), Canellas et. al. (2003), Souza et. al. (2005) e Severiano et. al. (2009), concordam entre si que a queima da cana-de-açúcar traz grandes prejuízos em termos

de qualidade do solo e do ar. Em contrapartida, quando colhida crua, a ausência da queima pode promover o acúmulo do material orgânico na superfície do terreno, e melhorar a qualidade física e química do solo. Contudo, o uso de maquinário em condições inadequadas de umidade pode resultar em uma série de alterações das propriedades físicas do solo, acarretando enormes prejuízos as suas condições naturais.

Portanto, para um efetivo aproveitamento da tecnologia na colheita de cana-de-açúcar mecanizada, devem ser levadas em consideração as condições de umidade do solo no momento da realização da operação, pois, se feita com umidade elevada, acelera o processo de compactação, inutilizando assim a melhora das condições físicas do solo adquirida com a reposição da matéria orgânica pela palha que deixa de ser queimada.

Outro problema inerente à mecanização segundo Iaia et. al. (2006), é que diante da necessidade crescente de modernização da cultura canavieira, opta-se cada vez mais por veículos de maior capacidade de carga, e esses, muitas vezes, trafegam sobre o solo em condições desfavoráveis em termos de conteúdo de água, tornando praticamente inevitável a ocorrência da compactação do solo.

Com relação ao efeito da compactação do solo pelo uso de máquinas pesadas, Sousa et. al. (2005) constataram ao avaliarem o efeito de sistemas de manejo da cultura da cana-de-açúcar nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura média, que a compactação do solo, em decorrência da colheita mecanizada, pode promover reduções superiores a 50% no volume de macroporos do solo.

Esta alteração estrutural, de acordo com Mesquita e Moraes (2004), compromete o funcionamento hídrico do solo, prejudicando a atividade agrícola, uma vez que essa classe de poros em última análise determina a taxa de movimentação de água no solo além da recarga do lençol freático e, conseqüentemente, potencializa as perdas de solo e nutrientes por erosão, além de causar assoreamento dos mananciais e cursos de água nas regiões canavieiras.

Devido aos danos causados pela cultura da cana-de-açúcar nas propriedades físicas do solo, Braundek e Oliveira (2006) ressaltam a importância de monitorar a compactação do solo para a manutenção da longevidade dos canaviais. Isso significa controlar os níveis de pressão aplicados pelos maquinários ou definir estratégias de manejo baseadas na predição dos impactos das operações sobre a estrutura do solo, visando auxiliar a tomada de decisões em torno do momento adequado à realização das operações mecanizadas.

Para Camilotti et. al. (2005) o tráfego intenso de máquinas figura como o maior problema enfrentado pela mecanização. Ele vem promovendo alterações nas propriedades

físicas dos solos e intensificando o processo de compactação dos mesmos, refletindo na queda de produtividade da cultura e o aumento dos processos erosivos.

Dentre todos os efeitos produzidos pelas operações de manejo na cultura de cana-de-açúcar, Pankhurst et. al. (2003) aponta a compactação dos solos como atributo da colheita mecanizada em condições de elevados conteúdos de água no solo.

Para minimizar os efeitos da compactação gerada pelo manejo dos canaviais, Kondo e Dias Junior (1999) afirmam que a determinação da umidade do solo antes da realização das operações mecanizadas torna-se indispensável, pelo fato da umidade influenciar diretamente na capacidade de suporte de carga do solo.

O uso intensivo de máquinas e equipamentos agrícolas pesados nas lavouras canavieiras causa alterações nas propriedades físicas do solo, que podem levar ao decréscimo na produção, e ainda contribuem para a predisposição do solo à erosão.

Para a minimização dos efeitos do manejo agrícola sobre as propriedades físicas do solo, Kochhann e Denardin (2000) ressaltam que é de extrema importância o bom preparo de solo antes da introdução da cultura, bem como nas reformas do canavial. Isso irá oferecer condições ótimas ao desenvolvimento das plantas, pois a descompactação do solo facilitará o desenvolvimento radicular das mesmas, assim como elevará a taxa de infiltração e a capacidade de armazenamento de água, aumentando a permeabilidade do solo.

Entretanto, um preparo do solo para o cultivo da cana-de-açúcar feito de forma incorreta, segundo Souza et. al. (2004), pulveriza a superfície dos solos, deixando-os mais susceptíveis ao processo de erosão e propicia à formação de impedimentos físicos a circulação da água logo abaixo das camadas movimentadas pelos equipamentos.

Na busca da minimização dos impactos gerados pelo manejo do solo, Bayer (1996), Cattelane Vidor (1990), e Bayer e Milniczuk (1997b) concordam entre si que deve ser utilizado um sistema de preparo com mínimo ou nenhum revolvimento do solo, pois este oferece inúmeros benefícios como a melhoria da estrutura, porosidade, retenção e infiltração da água no solo, atividade biológica, conteúdo de carbono orgânico e nitrogênio total do solo, capacidade de troca de cátions e conteúdos de nutrientes.

Portando, o bom desenvolvimento das culturas de cana-de-açúcar está estritamente ligado a manutenção das características químico-físicas, biológicas, e hídricas do solo, uma vez que a produtividade dos canaviais está relacionada à qualidade do solo e do clima local.

Com o advento da mecanização das operações do manejo agrícola dos canaviais, torna-se cada vez mais indispensável à obtenção de informações sobre as condições que o solo apresenta em campo para a tomada de decisões sobre a condição ideal para as operações.

Somente assim, será possível maximizar a produção e impedir a deterioração das propriedades do solo.

3 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Escolha e localização da área de estudo

O município de São Carlos do Ivaí (**Figura 1**) está inserido nas mesorregiões noroeste do Estado do Paraná (IPARDES, 2012), situado entre o paralelo de $23^{\circ} 18' 55''$ de latitude sul e o meridiano $52^{\circ} 28' 33''$ de longitude oeste, com altitude média de 380 metros. Possui uma área de 224,437 km², perfazendo aproximadamente 24.311 ha, limitando-se com os municípios de Tamboara (norte), Paraíso do Norte (noroeste), São Manoel do Paraná (oeste), Japurá (sudoeste), São Tomé (sul), São Jorge do Ivaí (sudeste) e Florai (leste).

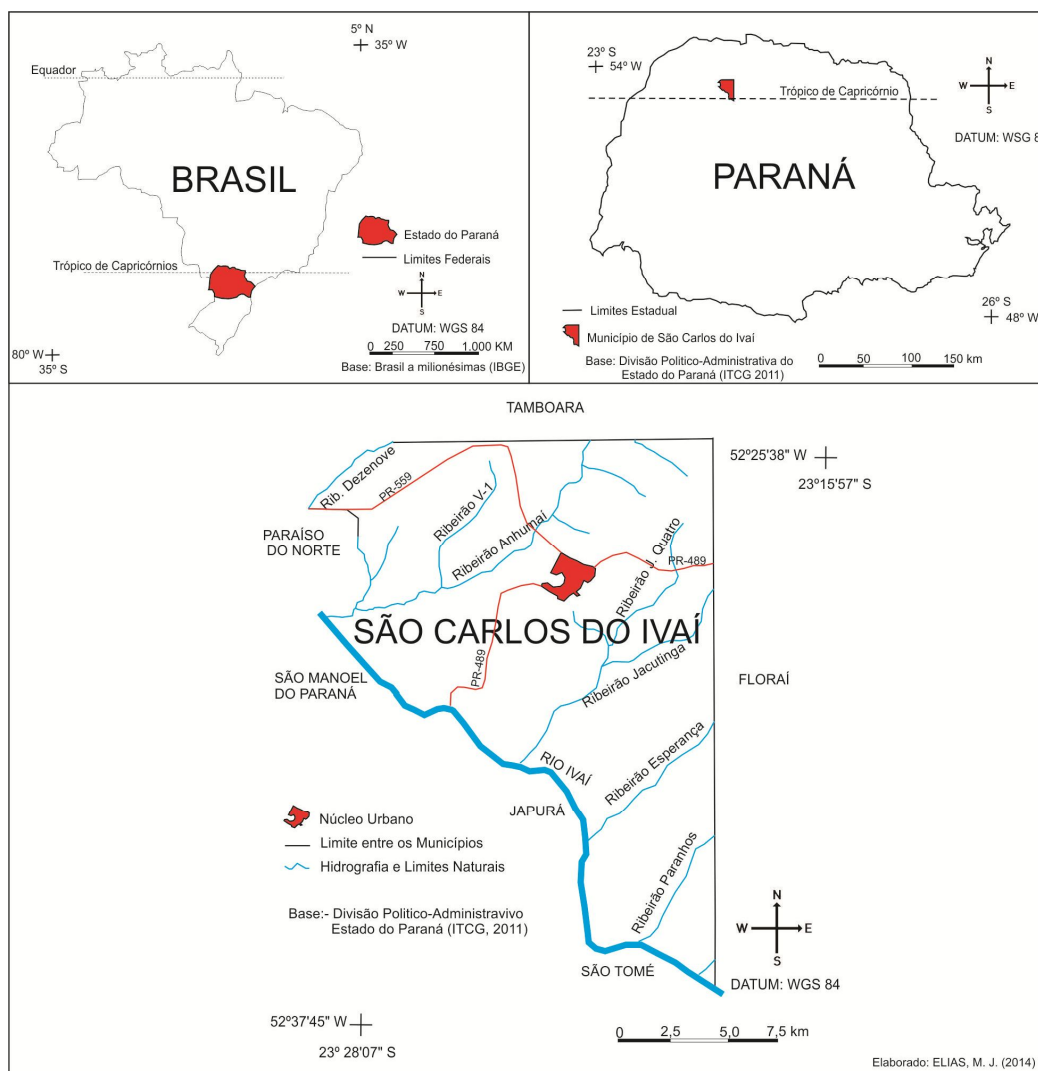


Figura 1 - Localização do município de São Carlos do Ivaí - PR.

A escolha do município de São Carlos do Ivaí para o desenvolvimento do estudo está pautada no intuito de verificar como as características físicas dos Latossolos originados a partir de diferentes materiais geológicos se comportam diante do cultivo da monocultura da cana-de-açúcar.

Esta escolha foi motivada pelo fato de a cultura canavieira recobrir 42,36% (IPARDES, 2012) da área total do município, e favorecida pelo fato do mesmo se encontrar em uma zona de transição entre o arenito da Formação Caiuá, o basalto da Formação Serra Geral e ainda apresentar depósitos de sedimentos do período Quaternário recente (MINEROPAR, 2001).

3.2 ASPECTOS DO MEIO FÍSICO.

3.2.1 Clima

Para Monteiro (1968), o estado do Paraná, devido ao fato de se encontrar localizado entre os paralelos de 22°30'S, e cortado ao Norte pelo Trópico de Capricórnio, caracteriza-se como uma região de transição entre o clima tropical quente e úmido e o clima subtropical, que predomina no sul do país. Esta posição geográfica do estado é responsável pelas maiores frequências e índices de precipitações pluviométricas.

A classificação de Köppen (1948), define a região Noroeste do Estado do Paraná como sub-tropical úmido mesotérmico, com verões quentes, com temperatura média do mês mais quente superior aos 22°C enquanto que a temperatura do mês mais frio é inferior a 18°C.

A posição geográfica desta região, caracterizada por apresentar boa parte de suas terras cortadas pela linha do Trópico de Capricórnio, apresenta elevadas temperaturas nos meses de verão e temperaturas amenas nos meses de inverno.

De acordo com Caviglione et. al. (2000), os valores pluviométricos médios anuais variam entre 1.400 a 1.600 mm, sendo que os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são os mais chuvosos, com médias que podem variar entre 175 a 200 mm. Os meses de julho e agosto são os mais secos, com médias atingindo entre 50 e 75 mm.

As chuvas apresentam tendência de concentração nos meses de novembro, dezembro e janeiro, quando as temperaturas também possuem médias mais elevadas. Os meses de julho e agosto representam um período de estiagem, com precipitações muito baixas variando entre 0 a 60 milímetros em média (figura 2).

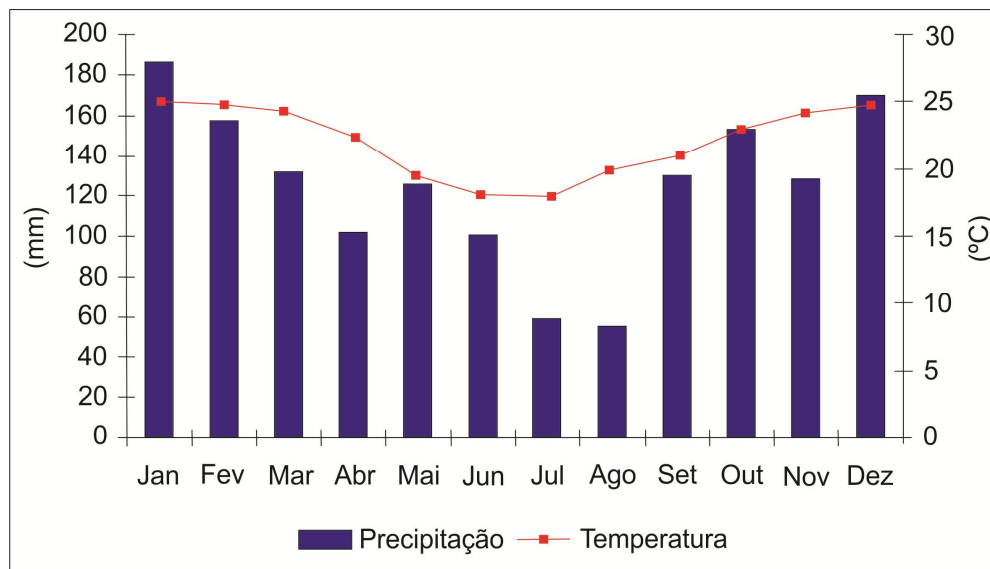


Figura 2 - Distribuição mensal das médias de precipitações e temperaturas nos anos de 1982 a 2012 da estação meteorológica de Paranaíba – PR. Fonte: Iapar - Simepar 2014.

3.2.2 Substrato rochoso

O município de São Carlos do Ivaí, por estar inserido na região Noroeste do Estado do Paraná, apresenta características geológicas semelhantes. De acordo com o Atlas Geológico do Paraná (MINEROPAR, 2001), existem rochas formadas na era Mesozóica no período Cretáceo Inferior representada pela Formação Serra Geral do Grupo São Bento, e Médio, representada pela Formação Caiuá do Grupo Bauru (**figura 3**).

Maack (1981) caracteriza a região noroeste e norte paranaense como pertencente a grande unidade geomorfológica conhecida como Terceiro Planalto, onde ocorrem extensos derrames vulcânicos Cretáceos da Formação Serra Geral, pertencentes ao Grupo São Bento (Bacia do Paraná) capeados a noroeste pelos arenitos da Formação Caiuá, (Grupo Bauru).

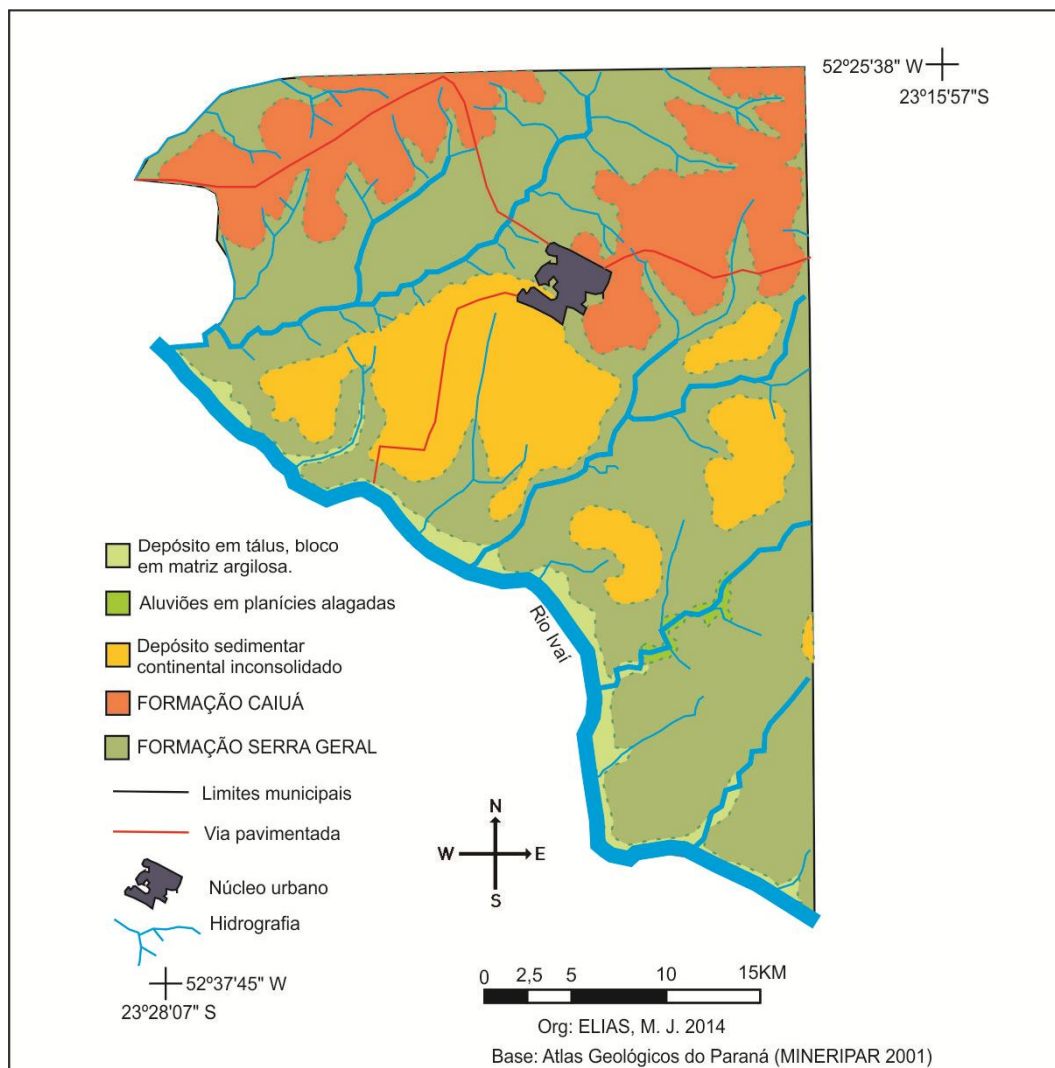


Figura 3 - Distribuição das unidades litoestratigráficas do município de São Carlos do Ivaí - PR.

A região Noroeste do estado do Paraná tem como característica geológica os derrames vulcânicos cretáceos da Formação Serra Geral, capeados pelas rochas sedimentares pertencentes à Formação Caiuá (GASPARETTO e SOUZA,2003).

Segundo Pinese e Nardy (2003), os extensos derrames vulcânicos globais de natureza fissural que recobriu quase 75% da superfície da bacia Sedimentar do Paraná, deram origem a Formação Serra Geral, que é composta por rochas vulcânicas extrusivas.

Ainda segundo Pinese e Nardy (2003), essas rochas são de natureza ácidas e básicas, separadas por rochas intermediárias. As lavas básicas são constituídas pelos basaltos, que ocorrem no sopé das vertentes, conferindo uma paisagem de relevos suaves, enquanto as lavas ácidas estão no topo dos derrames, conferindo-lhes elevados platôs que se destacam no relevo.

A Formação Caiuá, de acordo com Maack (2002), caracteriza-se por apresentar continuidade do processo de sedimentação eólica terrestre iniciada no período rético ou Triássico Superior, com a deposição do Arenito Botucatu no deserto mesozóico, que perdurou até o período neo-cretáceo.

Para Fernandes (1992), a Formação Caiuá caracteriza-se por arenitos finos a médios, com frações muito finas e grossas subordinadas, com pouca matriz argilosa de cor marrom-arroxeadado a avermelhado, com grãos em geral sub-arredondados a arredondados, foscas e encobertos por películas de óxido de ferro.

Essas rochas sedimentares da Formação Caiuá, segundo Nakashima e Nóbrega (2003), ocupam uma área de aproximadamente 25.000 km² dentro do Terceiro Planalto Paranaense.

Segundo Soares et. al. (1980), a Formação Caiuá é composta por areia de textura fina a média, com pouca matriz argilosa, de cor marrom-arroxeadado a avermelhada, constituindo-se essencialmente de quartzo, feldspatos e calcedônia. Para o autor, a principal característica da Formação Caiuá é a uniformidade da litologia, representada por arenitos muito finos a médios, com estratificação cruzada de grande porte.

Para Fernandes (1992), a cor arroxeadado dos arenitos está associada à presença de cimento argiloso, enquanto o tom marrom-avermelhado é devido à presença de óxidos de ferro.

Jabur e Santos (1984) afirmam que em sondagens realizadas pela SUREHMA, pode se verificar que os arenitos da Formação Caiuá apresentam espessura média de 100m, tendo em torno de 200metros na região de Umuarama e o mínimo de 40m na região de Maringá.

3.2.3 Relevo

O município de São Carlos do Ivaí, de acordo com Ross (1992) e Santos et. al. (2006), está inserido na unidade morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Terceiro Planalto Paranaense nas subunidades do Planalto de Campo Mourão e Planalto de Umuarama.

De acordo com Graça (2013), as porções mais elevadas e mais dissecadas do relevo do município estão associadas ao arenito da Formação Caiuá. Já as porções mais monótonas e mais suavizadas de menores altitudes estão associadas ao basalto da formação Serra Geral.

Na Formação Caiuá, o relevo, de modo geral, se apresenta uniforme com planaltos escalonados, inclinados levemente em direção ao vale do rio Paraná e seus principais afluentes: rios Paranapanema, Ivaí e Piquirí. As altitudes variam de 600 metros nas áreas próximas ao contato com o domínio da Formação Serra Geral (Maringá, Cianorte, São

Lourenço), até 310 metros nas margens do Rio Paranapanema e 250 metros nas margens do Rio Paraná (NAKASHIMA, 1999).

O relevo da região, de acordo com Maack (2002), está diretamente ligado às condições litológicas existentes na área, sendo que o Terceiro Planalto Paranaense representa o plano de declive que forma a encosta da escarpa da Serra Geral do Paraná, a qual é constituída por estratos de arenito São Bento Inferior ou Botucatu, com espessos derrames de lavas básicas muito compactas do Trapp do Paraná, que na testa da escarpa apresentam espessuras de 50 a 200 metros, atingindo, porém, a oeste 1.100 a 1.750 metros.

Segundo Nakashima (1999), o relevo arenítico nas áreas próximas ao contato com a Formação Serra Geral é representado predominantemente por colinas médias alongadas com topos planos e convexos e vertentes convexas.

A região noroeste do estado caracteriza-se pela geomorfologia pouco movimentada, com paisagem composta por relevo uniforme, variando de plano a suavemente ondulado, com poucas elevações, que formam colinas amplas, com topos extensos e arredondados, separadas entre si por vales mais ou menos profundos, pouco sinuosos a quase retilíneos.

Nas áreas de ocorrência do Arenito Caiuá, as vertentes são geralmente convexas e de baixa declividade, ao passo que nas áreas ocupadas pelo derrame do Trapp do Paraná, o relevo caracteriza-se como plano até fortemente ondulado, podendo chegar a montanhoso em alguns setores.

Segundo Nakashima e Nóbrega (2003), nas áreas onde a rede de drenagem é mais densa, aparecem colinas médias e curtas, com declividades mais acentuadas, ocorrendo próximo às nascentes dos principais afluentes e sub afluentes da região.

Em uma caracterização detalhada da região Noroeste do estado do Paraná, Nakashima (1999) constatou que os interflúvios do sistema de drenagem dos rios Paranapanema-Ivaí apresentam relevo com topos praticamente planos a suave ondulados, com altitudes variando de 550 metros nas proximidades de Nova Esperança a 250 metros no Rio Paraná. Nos interflúvios do sistema de drenagem Ivaí-Piquiri, a altitude varia de 600 metros em São Lourenço a 450 metros em Umuarama, seguindo na direção a oeste. A partir daí, já nas proximidades do rio Paraná, a altitude diminui para 250 metros. O divisor de águas é caracterizado por colinas extensas suave-onduladas a quase planas. Nos dois interflúvios onde nascem os afluentes destes rios o relevo assume características ligeiramente mais dissecadas, com colinas de vertentes ligeiramente mais inclinadas.

A amplitude altimétrica é de 200 metros, a menor cota é de 250 metros e encontra-se próxima a calha do Rio Ivaí, ao passo que a maior está na porção leste, próximo ao sítio urbano do município (**figura 4**).

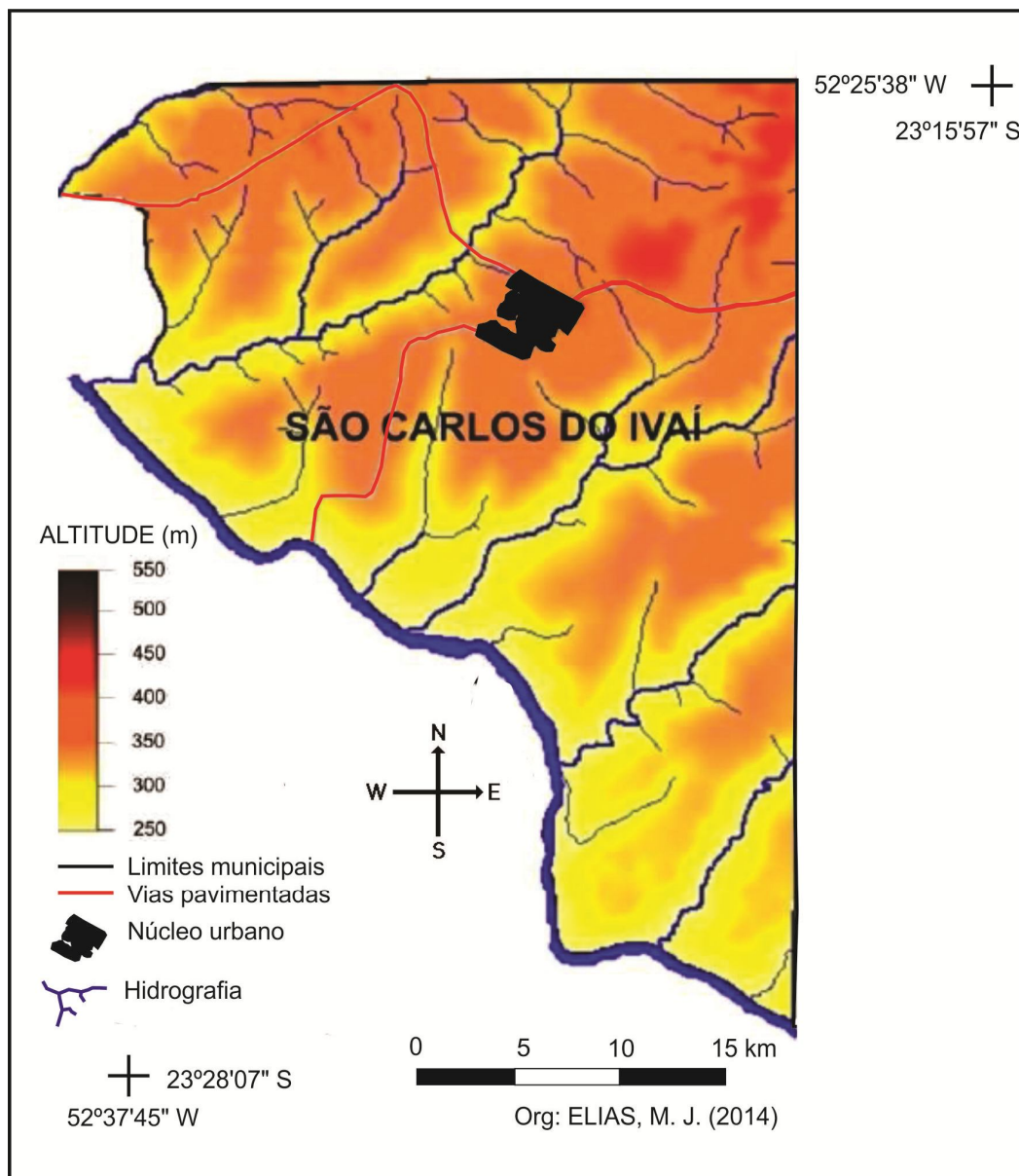


Figura 4 - Distribuição das unidades hipsométricas do município de São Carlos do Ivaí - PR.

A grande maioria do relevo apresenta declividades menores que 8% figurando entre plano e suave ondulado, com grandes patamares sobre o basalto, com topos aplainados e vertentes retilíneas, com rupturas abruptas próximo aos cursos d'água. Essas rupturas que ocorrem geralmente nas partes inferiores do relevo são responsáveis pelo aumento nas classes de declividade que atingem entre 8% e 20% (**figura 5**)

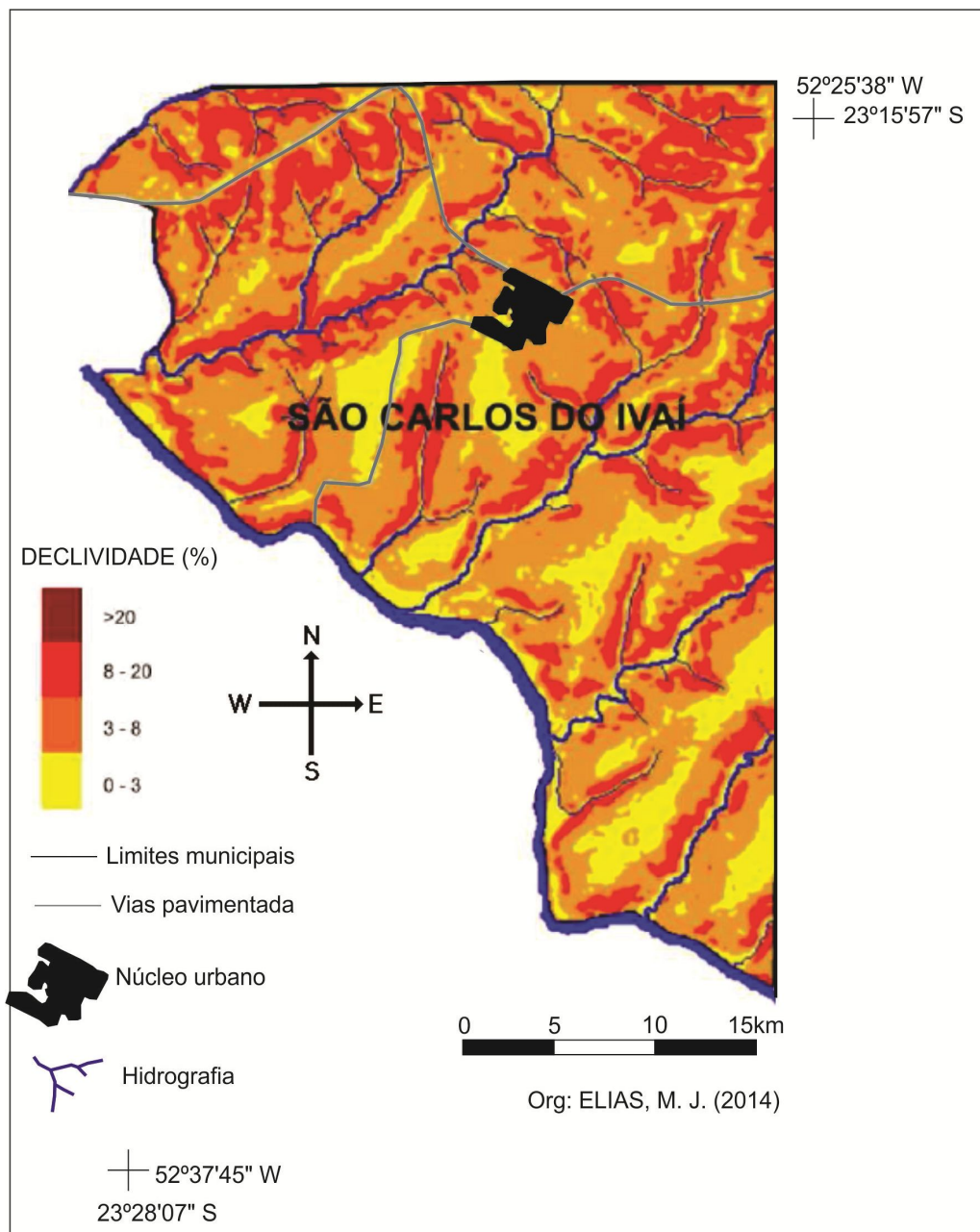


Figura 5 - Distribuição das unidades de declividade do município de São Carlos do Ivaí - PR.

3.2.4 Solos

De acordo com a EMBRAPA (2007), os solos do município são formados a partir da alteração do basalto da Formação Serra Geral, do arenito da Formação Caiuá, e dos sedimentos recentes do depósito da era Cenozóica do período Quaternário.

A cobertura pedológica apresenta características físicas, químicas e mineralógicas diferenciadas, por se tratar de uma área de transição entre rochas basálticas da Formação Serra Geral e arenitos da Formação Caiuá.

Os solos formados a partir da alteração das rochas da Formação Serra Geral são caracterizados pela profundidade, permeabilidade, e pela boa drenagem, e sua ocorrência prevalece sobre topografia de plana à ondulada.

Decorrente da alteração do basalto, surgem no município, às classes de solos representadas pelo Latossolo Vermelho Eutrófico, com textura argilosa a muito argilosa, ocorrendo sobre os topos planos e suaves ondulados, além do Nitossolo Vermelho Eutroférico, com textura argilosa a muito argilosa, ocorrendo sobre relevo suave ondulado a ondulado (Figura 1).

Os solos oriundos do arenito da Formação Caiuá apresentam textura que varia de arenosa à média, com elevado teor de areia e baixa porcentagem de argila, que aparece nos setores mais elevados.

Derivado do arenito e dos sedimentos recentes, surgem as classes de solos representadas pelo Latossolo Vermelho Distrófico típico textura média, que ocorre sobre relevos suaves ondulados e planos, o Argissolo Vermelho Distrófico típico textura arenosa/média em relevo suave ondulado, e o Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto textura arenosa/média em relevo ondulado (**figura 6**).

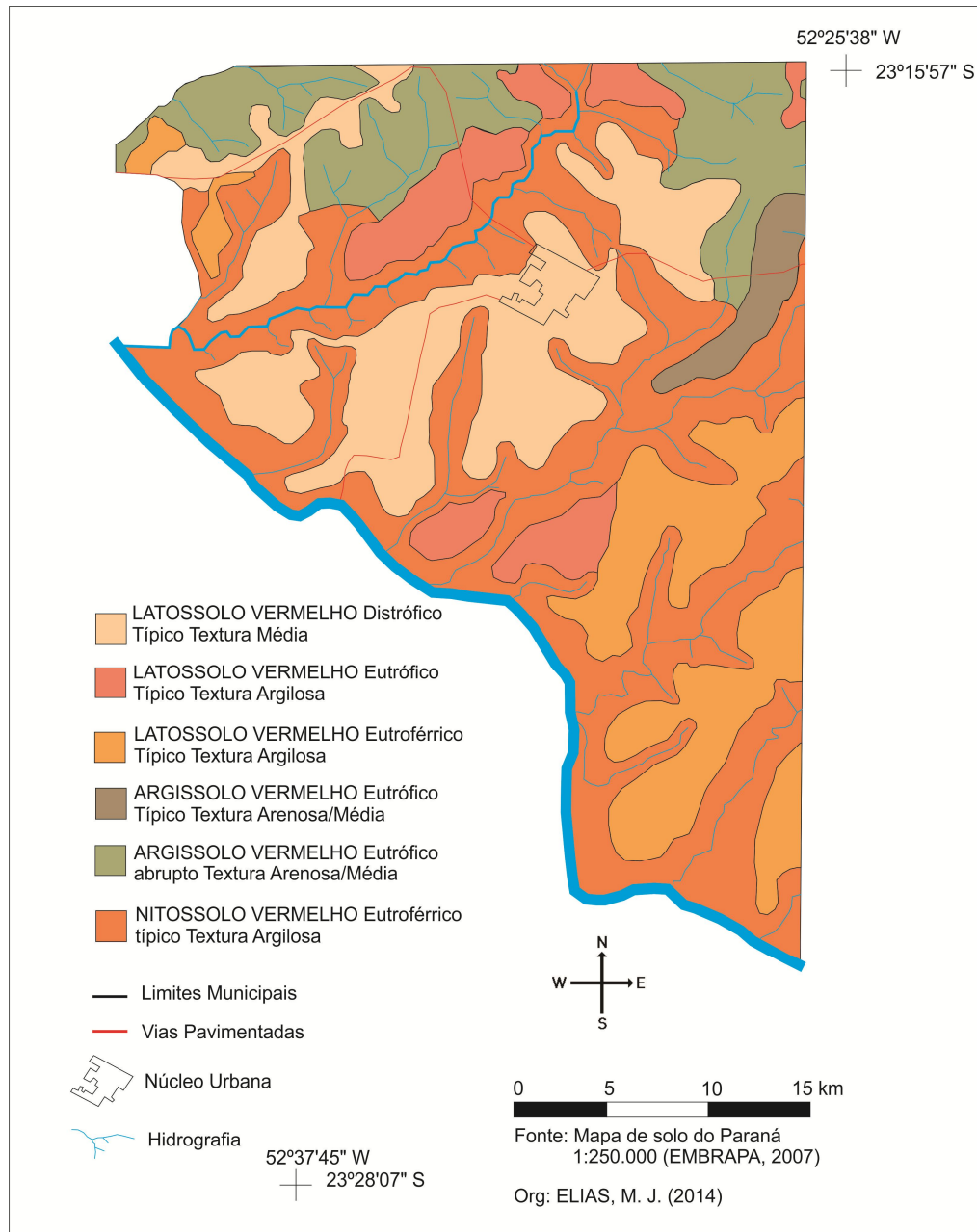


Figura 6 - Distribuição das classes de solo do município de São Carlos do Ivaí - PR.

No noroeste do Paraná, o arenito da Formação Caiuá dá origem a solos de textura arenosa. Nakashima (1999) descreve pelo menos quatro classes de solos, dentre eles: os Latossolos, os Podzólicos (Argissolos), Litólicos (Neossolos Litólico) e Areias Quartzosas (Neossolos Quartzarênicos) atribuindo a sua distribuição ao tipo de modelado, às suas formas, à declividade das vertentes, à circulação interna da água e ao padrão de drenagem.

A alternância dos processos morfogenéticos, originando superfícies escalonadas de erosão, e a influência antrópica, verificada a partir das últimas décadas, remodelaram

superfícies antigas, provocando deslocamento de depósitos, ou misturando esses depósitos. Nas novas superfícies modificadas, a ação combinada da morfo-pedogênese condicionou a formação de novos perfis de solos (NAKASHIMA 1999).

No detalhamento da cobertura pedológica da região, Nakashima (1999) constatou que os Latossolos predominam nas partes mais elevadas do relevo, em especial nos interflúvios e patamares extensos e quase que aplainados. Já os Argissolos aparecem nas vertentes de média declividade, ou mesmo nos pequenos topos arredondados enquanto que os Neossolos Litólico aparecem nas vertentes de maior declividade e no fundo dos vales e, próximos a eles, os solos aluviais e o Neossolos Quartzarênicos.

3.2.5 Vegetação

Para Maack (1968), a vegetação de um lugar reflete em primeiro lugar as características do clima e também a latitude bem como a natureza do solo que a sustenta.

Segundo Maack (2002), a vegetação original da região Noroeste do Paraná era composta pela Floresta Estacional Semidecidual, ou Ombrófila Mista, composta por espécies vegetais ricas em epífitas e palmáceas, principalmente nos vales dos rios Tibagi, Pirapó e Ivaí, além de contar com perobas, cedros, lauráceas, e inúmeras outras espécies distribuídas ao longo de todo Terceiro Planalto Paranaense.

Essa formação vegetal, de acordo com Maack (2002), está associada ao teor de umidade proveniente da distribuição das precipitações por todos os meses do ano e das elevadas temperaturas da região.

Entretanto, nas áreas de ocorrência do Arenito Caiuá, a vegetação é menos exuberante, podendo aparecer áreas de cerradão sobre os solos com características mais arenosas.

Segundo Paraná (1987), a vegetação original do município é classificada como remanescente da Floresta Estacional Semidecidual, Submontana e Aluvial, estando relacionada ao fato do clima da região contar com duas estações distintas, compostas por uma seca e outra chuvosa, com acentuada variação térmica, apresentando como característica fisionômica a semidecidualidade.

De acordo com Roderjan et. al. (2002), a floresta Estacional Semidecidual Submontana (**figura 7**) é caracterizada por estar entre 100 m e 600 m em relação ao nível do mar, ocorrendo, sobretudo, em coberturas pedológicas como Latossolo, Argissolo, Nitossolo, Cambissolo, Neossolo Litólico e Neossolo Quartzarênico. Por se apresentar em uma região de intensa antropização, esta formação vegetal foi quase que completamente dizimada para

dar lugar à cafeicultura, restando apenas 4% da superfície original em áreas de preservação e parques.



Figura 7 - Perfil esquemático destacando a estrutura de um segmento de Floresta Estacional Semidecidual no município de Maringá - PR, Fonte: Roderjan et. al. (2002)

3.3 Aspectos históricos

O município de São Carlos do Ivaí segue a tendência dos demais municípios da região Norte e Noroeste paranaense, desenvolvendo-se a partir do fruto da comercialização das terras adquiridas pela Companhia de Melhoramentos Norte do Paraná (CMNP), criada em 1925, e que adquiriu do governo estadual cinco glebas de terras contínuas, situadas entre os rios Tibagi, Paranapanema e o médio Ivaí (AMUSEP, 1999).

Segundo IBGE (2013) em 1944, Silas Pioli, engenheiro civil radicado em Curitiba, desejando dedicar-se a outras atividades, requereu e obteve do Governo do Estado do Paraná, a concessão de uma área de 2.000 hectares de terras situadas às margens do rio Ivaí, no interior do Município de Mandaguari, transformando-a numa fazenda mista de criação de gado e plantação de café, a qual recebeu o nome de São Carlos do Ivaí.

Como a área era demasiadamente grande para as novas atividades, resolveu promover o loteamento, intentando formar um Patrimônio, o que ocorreu em 1949. Após haverem sido tituladas as terras, a ideia da fundação de uma Cidade já estava concretizada. Por volta de 1950, chegaram a São Carlos do Ivaí os primeiros compradores de datas, onde já se encontravam os velhos posseiros: Pedro Roque, os Albanos, Antonio Mathias, João Pojto e o velho Porfírio, que foram os primeiros a penetrar a região através de picada.

A partir daí, precisamente em 1951, foi aberta a primeira rua e construída meia dúzia de casas de madeira no perímetro urbano, onde Batista Bego, Segismundo Iguacewski, Alípio Rodrigues e Waldomiro Roda estabeleceram as primeiras casas comerciais, embora, Ginez Serrano e João Pinto já possuíssem armazéns nas cercanias da cidade em formação.

Em 05 de agosto de 1953, o Patrimônio de São Carlos do Ivaí foi elevado à categoria de Distrito Administrativo, já então pertencente ao Município de Paranaíba. Com a criação, em 1954, do Município de Tamboara, desmembrado de Paranaíba, o Distrito Administrativo de São Carlos do Ivaí, passou a pertencer ao Município recém-criado.

Em 24 de janeiro de 1956, São Carlos do Ivaí era elevado à categoria de Município, desmembrado de Tamboara pela lei estadual n.º 2565, de 24-01-1956e acrescido de parte do território de Paraíso do Norte. O topônimo advém da Fazenda São Carlos do Ivaí, primeiro núcleo populacional do território, em cujas proximidades está situada sua sede.

4 MATERIAL E MÉTODO

4.1 Trabalho de campo

Para a realização da pesquisa, foram selecionados dentro do município, áreas de Latossolo originado a partir da Formação Caiuá e Formação Serra Geral, ambas sob o cultivo da cana-de-açúcar, onde procedeu à abertura de trincheiras, assim como a descrição morfológica e a descrição do perfil cultural, além da coleta de amostras para análises laboratoriais (**figura 8**).

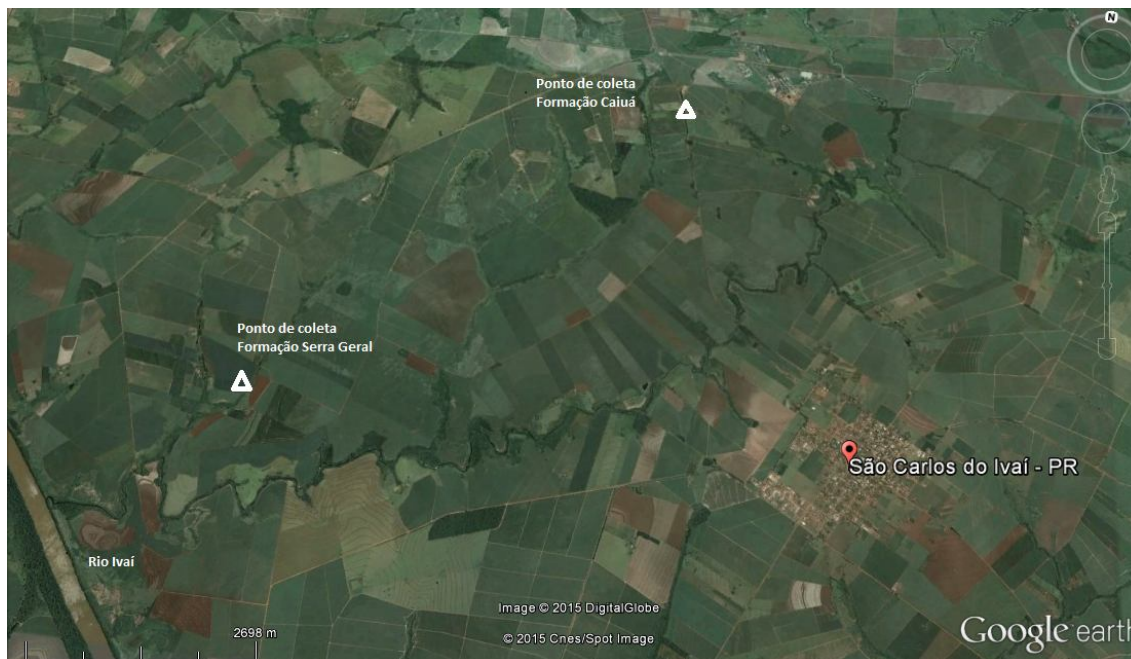


Figura 8 - Pontos de coletas de amostras para análises laboratoriais, São Carlos do Ivaí - PR.

A escolha do município de São Carlos do Ivaí para a realização do estudo se deve ao fato de o mesmo encontrar-se sobre uma zona de transição entre áreas de basalto e arenito. Além disso, o município é também um grande produtor de cana-de-açúcar, o que possibilita demonstrar os efeitos do manejo agrícola sobre as diversas classes de solo.

Após ter sido escolhida a área de estudo, foram feitos os levantamentos exploratórios para a determinação dos locais de ponto de descrição e coleta, de forma que fosse o mais representativo possível para o LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico textura média, e para o LATOSSOLO VERMELHO eutrófico típico textura argilosa.

Desta forma, optou-se pela escolha de pontos de amostras em Latossolos que são as classes de maior representatividade espacial dentro do município. As classes de solos que atenderam os requisitos pré-estabelecidos para a pesquisas foram: o Latossolo Vermelho Distrófico típico textura média; Latossolo Vermelho Eutrófico típico textura argilosa; Latossolo Vermelho Distrófico típico textura argilosa.

Sobre essas classes de solos selecionadas, a atividade canavieira vem sendo realizada ao longo dos últimos 30 anos, época em que foi implantada a agroindústria no município. Esse longo período de tempo de implantação da agroindústria possibilita a determinação das alterações nas propriedades físico-químicas do solo.

Sobre essas classes de solos, foram abertas, com o auxílio de um trator retro escavadeira, as trincheiras com dimensões de 1,5 m de comprimento por 0,6 m de largura e

0,8 m de profundidade aproximadamente, que são as dimensões contidas no manual de descrição do perfil cultural.

Após a abertura dessas trincheiras, foi realizada a descrição do perfil cultural seguindo os critérios estabelecidos por Gautronneau e Manichon (1987), e adaptado para solos tropicais por Tavares Filho et. al. (1999). Também foi procedida a descrição morfológica do solo seguindo os critérios do Manual de descrição e coleta do solo no campo (LEMOS; SANTOS, 1996).

4.2 Método do perfil cultural

Para diferenciar os volumes de solos compactos, utilizou-se o Método do Perfil Cultural, proposto por Gautronneau e Manichon (1987), nas trincheiras que foram abertas perpendicularmente ao sentido de trabalho das máquinas e implementos, com vistas a detectar as modificações estruturais provocadas no solo pela pressão.

Esse método, a princípio mostrou-se rigoroso para as características inerentes aos solos tropicais, devido a isso, Tavares Filho et. al. (1999) propôs critérios mais simplificados, mais abrangentes em sua interpretação, privilegiando mais o modo de organização do que o estado interno dos torrões.

Nas descrições morfológicas dos perfis de solos, através do Método Perfil Cultural, foram examinadas as alterações das camadas superficiais e subsuperficiais do solo, em geral com até 80 cm de profundidade. Este procedimento permitiu verificar as alterações que as diversas culturas e seu manejo provocam nos solos, e quais os tipos de uso e manejo geram maiores índices de degradação.

O método é fundamentado no estudo da morfologia do solo e consiste na delimitação dos volumes antropizados distintos, tanto em profundidade como lateralmente, a partir de critérios como: forma, tamanho e distribuição dos elementos estruturais; presença ou ausência de poros visíveis a olho nu e continuidade destes; forma e dureza de agregados e torrões, dentre outros fatores.

Os critérios para descrição do modo de organização do perfil e do estado interno dos torrões proposto por Tavares Filho et. al. (1999) constam nos quadros 1 e 2.

Quadro 1 - Modo de organização do perfil cultural do solo.

Nívelanálise	Simbiologia	Definições
I	AM	Volume de solo visivelmente alterado pelo manejo, isto é pelo maquinário agrícola e pelas raízes.
	NAM	Volume de solo visivelmente não alterado pelo manejo
II	L	Volume de solo livre, solto, constituído por terra fina, solo pulverizado, agregado e torrões de tamanho variado (de 0 a 10 cm) sem nenhuma coesão. Comum na superfície dos solos trabalhados. Podem apresentar raízes em grande quantidades, bem ramificadas, não achatadas e não tortuosas orientadas em todas direções. A estabilidade em água e a coesão a seco entre agregados desse volume de solo são nulas, mas a estabilidade e a coesão dos agregados podem ser altas. A porosidade a olho nu é importante.
	F	Volume de solo fissurado, em que a individualização de torrões é facilitada pela fissuração, sendo este de tamanhos variados. Quando presentes nesse volume, as raízes se desenvolvem preferencialmente entre os torrões, nas fissuras existentes. Podem ser bem ramificadas e orientadas em todas as direções, mas normalmente apresentam aspectos achatado. A porosidade é essencialmente fissural.
(Somente para volume AM)	Z	Volume de solo formado essencialmente de estrutura laminar. As raízes quando presente nesse volume, são tortuosas e com desenvolvimento horizontal. Normalmente, não são ramificadas e, além da tortuosidade, apresentam aspectos bem achatado.
	C	Volume de solo em que os elementos (agregados e terra fina) estão unidos, formando um volume bastante homogêneo, com aspecto de estrutura maciça, sendo possível a individualização de torrões a olho nu. Pode apresentar raízes em grande quantidades, bem ramificadas, não achatadas e não tortuosas, orientada em todas as direções, quando o volume não for compacto, e não ramificadas, achatadas e tortuosas, orientadas horizontalmente, quando o volume for compacto. A porosidade é essencialmente de empilhamento de agregados, podendo apresentar cavidades arredondadas e poros tubulares.
Nos modos de organização L e F, além do estado interno dos torrões, devem-se classificar os torrões pelo tamanho: 1 a 5 = pequenos; 6 a 10 = médios; > 10 cm = grandes.		

Quadro 2 - Estado interno dos torrões presentes nos diferentes modos de organização do volume de solo antropizado.

Nível/análise	Simbologia	Definições
III	μ (agregado não compactado)	Estado interno dos torrões caracterizado por uma distribuição de agregados com estruturas internas e externas porosas, fácil de ser observada a olho nu, como predominância de poros do tipo amontoados de agregados. Normalmente, apresenta raízes intra e entre agregados, bem ramificada, não achatada, com orientação vertical não prejudicada pela compactação. As faces de rupturas são principalmente lisas e a coesão a seco é muito elevada.
	Δ (agregado compacto)	Estado interno dos torrões compactados, caracterizado por uma distribuição de agregados com estrutura angulosa (poliédrica, cúbica ou prismática), devido à forte pressão externa, com uma porosidade visível a olho nu, muito pouco desenvolvida, com predominância quando existir de poros tubulares e cavidades arredondadas, podendo existir fissuras. Quase não apresenta raízes e estas, quando presentes, possuem poucas ramificações. São achatadas, com orientação vertical prejudicada pela compactação. As faces de ruptura são principalmente lisas e a coesão a seco é muito elevada.
	$\mu\Delta$ / $\Delta\mu$ (agregado \pm compacto)	Estado intermediário entre agregados compactos e não compactos, com duas possibilidades: (1) Estado ($\mu\Delta$): agregados que estão em processo de compactação, mas que ainda guardam predominantemente características do estado não compacto μ sobre as características do estado compacto Δ (2) Estado ($\Delta\mu$): agregados que estão bem compactos, mas que ainda guardam algumas características do estado compacto μ
Obs.: Durante a análise do perfil cultural, se forem observados volumes de solos com problemas hidromórficos, volumes com concentração de matéria orgânica ou resultante de atividade biológica, este devem ser indicados com a seguinte simbologia: h para indicar hidromorfia; b para indicar atividade biológica e mo para indicar matéria orgânica.		

Dentro dessas diversas unidades de solos separadas pelo método do perfil cultural, foram feitas as coletas deformadas de aproximadamente 1 kg de solo para posterior encaminhamento para laboratório a fim da determinação da granulometria e análises químicas para a determinação da quantidade de macronutrientes disponível as raízes das plantas.

Foram coletadas também amostras indeformadas, em anéis volumétricos, em todas as unidades do perfil cultural. O objetivo dessa coleta foi a determinação da porosidade total, macroporosidade, microporosidade (mesa de tensão), densidade aparente do solo, e da condutividade hidráulica com carga constante (permeâmetro de carga constante).

4.3 Análises laboratoriais

As análises físicas, químicas e hídricas do solo realizadas no laboratório seguiram as normas e procedimentos contidos no *Manual de Métodos e Análises de Solos* (EMBRAPA 1997).

4.4 Densidade aparente do solo

A densidade aparente do solo foi determinada pelo Método do anél volumétrico, através de um anel de aço (Kopecky). Os valores de densidade aparente do solo em cada unidade de solo é resultado do cálculo:

$$\text{Densidade aparente (g/cm}^3\text{)} = a / b$$

a = peso da amostra seca a 105°C (g)

b = volume do anel ou cilindro (cm³)

4.5 Densidade de partículas do solo

A densidade de partícula foi determinada pela quantidade de álcool etílico necessário para completar a capacidade do balão volumétrico de 50 ml. Os valores de densidade de partículas do solo em cada unidade de solo é resultado do cálculo:

$$\text{Densidade de partículas (g/cm}^3\text{)} = a / 50 - b$$

a = peso da amostra seca a 105°C

b = volume de álcool gasto

4.6 Porosidade total do solo

A porosidade total do solo será a determinação do volume de poros totais do solo ocupado por água e/ou ar. Os valores da porosidade total do solo em cada unidade de solo é resultado do cálculo:

$$\text{Porosidade total} = 100 (a - b) / a$$

a = densidade real

b = densidade aparente

4.7 Microporosidade do solo (mesa de tensão)

A microporosidade do solo será determinada saturando as amostras e colocando sob a mesa de tensão a qual retira a água dos macroporos (poros com $0 \geq 0,05\text{mm}$). Os valores de microporosidade do solo em cada unidade de solo é resultado do cálculo:

$$\text{Microporosidade} = \frac{(a - b)}{c}$$

a = peso da amostra após ser submetida a uma tensão de 60 cm de coluna de água.

b = peso da amostra seca a 105°C (g).

c = volume do cilindro

4.8 Macroporosidade do solo

A macroporosidade consiste no volume do solo que corresponde aos poros com $0 \geq 0,05$ mm. Os valores de macroporosidade do solo em cada unidade de solo é resultado do cálculo:

$$\text{Macroporosidade} = \text{Porosidade total} - \text{microporosidade}$$

4.9 Análise Granulométrica

O objetivo desse ensaio é determinar a distribuição das partículas primárias do solo, neste caso as frações com diâmetro de argila, silte, areia fina e areia grossa.

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, conforme metodologia proposta por Camargo et al. (1986). Salvo algumas pequenas adaptações: foram utilizadas 10g de TFSA para 10 ml de dispersante hidróxido de sódio, mais 100 ml de água destilada que ficaram em repouso por 24 horas. Em seguida foram agitadas por 10 minutos em agitador de hélice e seguiram-se os procedimentos de Camargo et. al. (1986) para pipetagem, obedecendo à lei de Stokes.

Poucas amostras tiveram a necessidade de queima de matéria orgânica. Nessas, foram colocadas 50g de TFSA (terra fina seca ao ar) em um Becker de 500 ml, adicionado 50 ml de

solução com 30% de peróxido de sódio e seguidos o procedimento proposto por Camargo et. al. (1986).

Baseia-se na velocidade de queda das partículas que compõem o solo. Fixa-se o tempo para o deslocamento vertical na suspensão do solo com água, após a adição de um dispersante químico (soda ou calgon). Pipeta-se um volume da suspensão, para determinação da argila que seca em estufa é pesada. As frações grosseiras (areia fina e grossa) são separadas por tamisação, secas em estufa e pesadas para obtenção dos respectivos percentuais. O silte corresponde ao complemento dos percentuais para 100%. Os valores de granulometria do solo em cada unidade de solo é resultado do cálculo:

$$\text{- teor de argila} = [\text{argila (g) + dispersante (g)}] - \text{dispersante (g)} \times 1.000$$

$$\text{teor de areia fina} = \text{areia fina (g)} \times 50$$

$$\text{- teor de areia grossa} = [\text{areia fina (g) + areia grossa (g)}] - \text{areia fina} \times 50$$

$$\text{- teor de silte} = 1.000 - [\text{argila (g) + areia fina (g) + areia grossa (g)}]$$

4.10 Condutividade hidráulica com carga constante

Consiste na velocidade com que a água se movimenta através do solo. Amostras saturadas são colocadas em permeâmetro de carga constante, e a medida quantitativa da condutividade hidráulica é obtida através da aplicação da equação de Darcy após 7 - 8 horas, ou quando os valores atingem a estabilidade. Os valores de condutividade hidráulica do solo em cada unidade de solo é resultado do cálculo:

$$K = Q \times L / A \times H \times t \text{ (cm/h)}$$

K = condutividade hidráulica em cm/h

Q = volume do percolado em ml, ou seja, o valor da última leitura quando não há variação entre os valores anteriores, ou a média das duas leituras quando há alguma variação.

L = altura do bloco do solo em cm

H = altura do bloco do solo e da coluna em cm

A = área do cilindro em cm²

t = tempo em horas

4.11 Análise de macronutrientes

A quantidade de macronutrientes foi determinada pelos processos a seguir:

- Extratores: KCl 1 mol.L⁻¹ (Ca, Mg, Al);
- Cloreto de Bário a quente (Boro);
- Acetato de Amônio-Ácido Acético (Enxofre);
- Mehlich 1 (P, K, Cu, Fe, Mn, Na, Zn);
- Carbono (C);
- Walkley Black.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As classes de solos submetidas a análises apresentaram significativas variações nas características físicas, químicas e hídricas. Estas variações decorrem principalmente da composição do material de origem e também das condições do manejo implantado na região.

As alterações provocadas pelo tipo de manejo expressa a necessidade de um aperfeiçoamento das técnicas agrícolas, a fim de minimizar os impactos sobre a camada arável do solo e maximizar a produtividade das culturas implantadas.

5.1 LATOSSOLO VERMELHO distrófico textura média

O Latossolo Vermelho distrófico textura média encontrado no município se desenvolveu sobre o arenito da Formação Caiuá (**figura 9**), em relevos com declividade geralmente inferior a 6%, nos topos dos interflúvios. Esses solos se caracterizam por apresentarem um intenso grau de intemperização, boa drenagem, ausência de concreções lateríticas bem como uma variação textural entre areia-franca, franco-arenoso e franco-argiloso.

A descrição do perfil cultural do Latossolo Vermelho distrófico demonstrou significativas variações nas condições físicas e hídricas do solo manejado com a cultura da cana de açúcar, em comparação com a mesma classe de solo mantido em condições naturais

sob a cobertura florestal (vegetação em recuperação, a vegetação original foi completamente removida).

O solo sob a cobertura florestal (**figura 9**), caracterizado por estar em condições naturais apresentou um volume de aproximadamente 0,5 cm de espessura composta por material orgânico decomposto ou em via de decomposição.

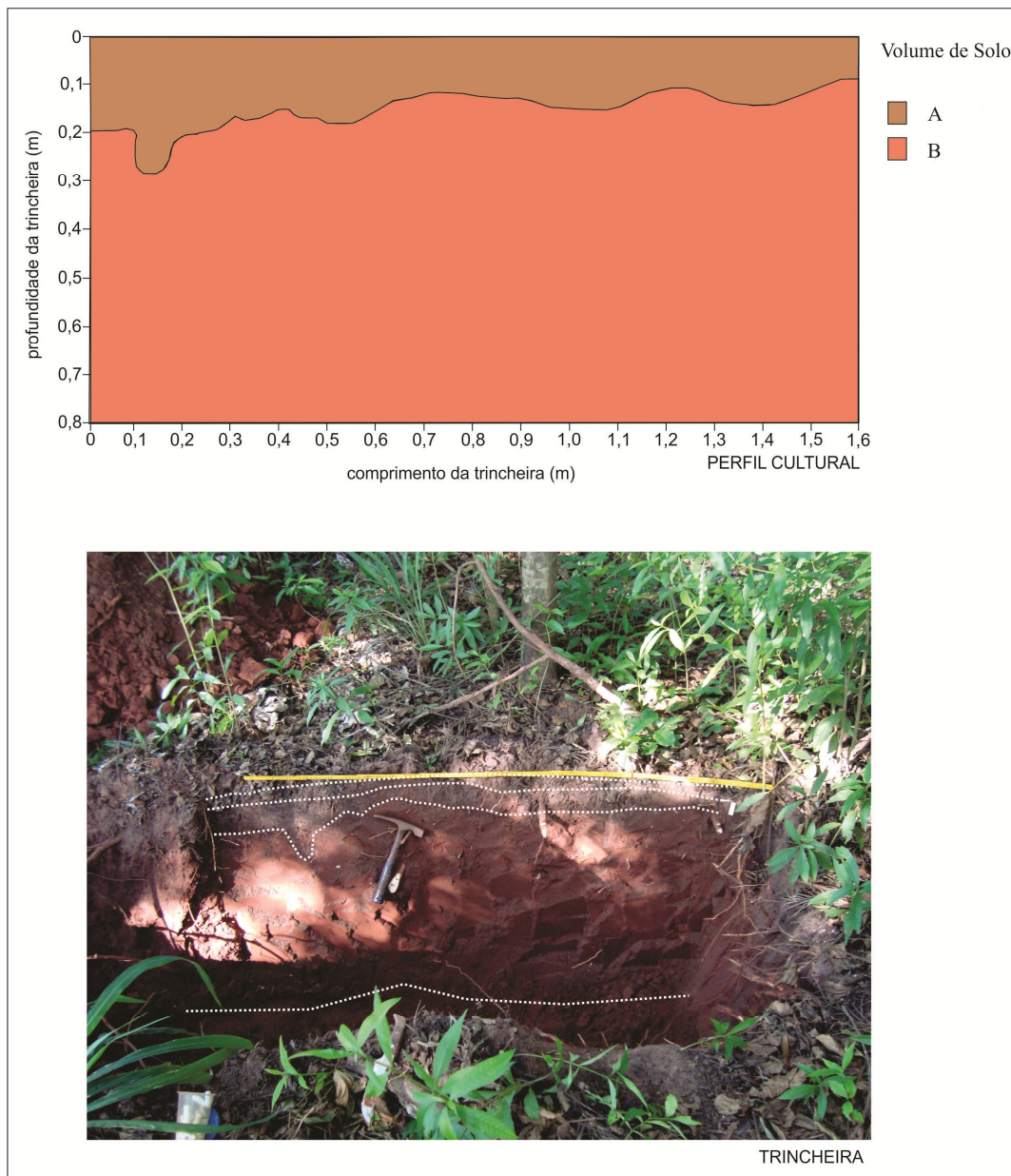


Figura 9 - Perfil cultural do solo sob Latossolo vermelho distrófico textura média da Formação Caiuá sob cobertura vegetal.

Imediatamente abaixo desta camada de materiais orgânicos foi encontrado um volume de solo solto medindo aproximadamente 2,0 cm de espessura, apresentando textura arenosa.

Material este derivado do arenito decomposição da Formação Caiuá e também de movimentação de materiais grosseiros do solo proveniente do pequeno escoamento superficial provocado pela declividade do terreno. Embora esteja sob a cobertura vegetal, essa classe de solo apresenta pequena estabilidade, o que facilita o escoamento superficial.

Abaixo deste volume de solo solto encontra-se o primeiro horizonte mineral de solo caracterizado e descrito como volume de solo A, com profundidade variando entre 10 e 20 cm (**Figura 9**).

Este volume de solo A apresentou cor 5YR-3/3 (marrom avermelhado escuro), com textura arenosa, a porosidade visível a olho nu foi do tipo forte e tubular, desenvolvida a partir da grande presença de raiz e insetos neste volume de solo.

A estrutura apresentada com base na descrição do perfil cultural do solo foi a NAM, volume de solo visivelmente não alterado pelo manejo agrícola. A estrutura interna dos torrões do tipo μ , (agregados não compactados), apresentando uma distribuição de agregados com estruturas internas e externas porosa, fácil de ser observada a olho nu, com predominância de poros do tipo amontoado de agregados.

Além disso, apresentou raízes intra e entre agregados, bem ramificadas, não achatadas, com orientação predominantemente vertical. Não foi detectada a presença de adensamento e compactação, uma vez que o solo se encontra recoberto por vegetação em estágio de recuperação, atestando assim a ausência de intervenções antrópicas.

Logo em seguida aparece o segundo horizonte mineral descrito como volume de solo B. Este seguiu além dos limites da descrição que foi de aproximadamente 80 cm de profundidade (**Figura 9**).

O volume de solo B apresentou cor 2,5YR-3/6 (marrom oliva escuro), textura arenosa, porosidade visível a olho nu do tipo forte e tubular, embora a presença de raiz e insetos neste volume de solo seja inferior à apresentada no volume A.

A estrutura apresentada com base na descrição do perfil cultural do solo foi a NAM, μ , F, volume de solo fissurado, em que a individualização de torrões é facilitada pela fissuração, sendo esta de tamanhos variados. As raízes presente neste volume se desenvolvem preferencialmente entre os torrões, nas fissuras existentes.

A quantidade de fissuras presentes neste volume de solo é muito pequena por se tratar de textura média. Foi possível identificar a estrutura do tipo NAM, volume de solo visivelmente não alterado pelo manejo agrícola.

A estrutura interna dos torrões do tipo μ , (agregados não compactados), apresentando uma distribuição de agregados com estruturas interna e externa porosa, fácil de ser observada a olho nu, como predominância de poros do tipo amontoado de agregados.

A presença de raízes intra e entre agregados foi menor, entretanto estas encontravam-se bem ramificadas, não achatadas, com orientação predominantemente vertical, não prejudicada pelo adensamento do solo que se apresentou visivelmente maior que no volume de solo A, embora não tenha sido detectada a presença de compactação devido ao solo estar sob cobertura vegetal e não receber interferência antrópica.

Ao analisar em laboratório as condições físicas dos volumes de solo sob cobertura florestal, o volume de solo descrito como A, por estar mais próximo da superfície e em uma área de reserva vegetal, apresentou condições físicas superiores ao volume de solo B (**Quadro 3**).

Quadro 3 - Caracterização física do LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico textura média (Formação Caiuá) sob cobertura vegetal.

LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico textura média (Formação Caiuá) sob a cobertura vegetal.									
Característica da trincheira		Caracterização física					Composição granulométrica		
Volume de solo	Profundidade (m)	Condutividade Hidráulica (mm/h)	Densidade do Solo (g/cm ³)	Porosidade Total (%)	Macroporosidade (%)	Microporosidade (%)	Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)
A	0,0 - 0,2	188,64	1,29	50,23	24,45	25,78	3,54	6,77	89,68
B	0,2 - 0,8	39,14	1,58	33,72	11,27	22,44	3,86	7,72	88,38
Média total		113,89	1,44	41,98	17,86	24,11	3,70	7,25	89,03

Quadro 4: Caracterização química do LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico textura média (Formação Caiuá) sob cobertura vegetal.

Composição química (macronutrientes) Latossolo textura média (Formação Caiuá) sob a cobertura florestal											
Característica da trincheira		Acidez extraível		Bases trocáveis			Soma das Bases (S)	Fósforo assimilável	pH		Carbono orgânico
Volume de solo	Profundidade (m)	H ⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺		P	H ₂ O	CaCl ₂	C
		-----cmol _c /dm ⁻³ -----					mgP/dm ⁻³ .				g/dm ⁻³ .
A	0,0 - 0,2	1,94	0,00	4,06	1,47	1,33	6,86	30,31	6,84	5,73	6,62
B	0,2 - 0,8	1,76	0,00	0,91	0,69	0,20	1,80	17,24	6,92	5,81	6,92

A densidade global do solo no volume A foi de $1,29 \text{ g/cm}^3$, mantendo-se abaixo dos valores considerados como críticos por Reichert et. al. (2003) que para solos francos e arenosos reside entre $1,6$ a $1,8 \text{ g/cm}^3$ (**figura 10**).

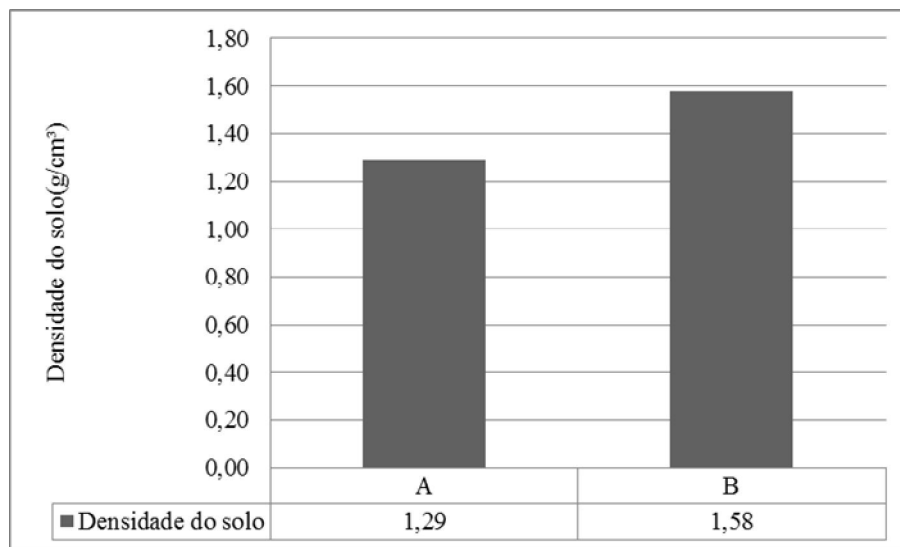


Figura 10 - Variações da densidade do solo no Latossolo da Formação Caiuá sob a vegetação.

A porosidade total do solo foi de $50,23\%$, sendo dividida em macroporosidade $24,45\%$ e microporosidade $25,78\%$. A divisão da porosidade de solo apresentou discrepância com o que Kiehl (1979) considera como sendo a porosidade ideal do solo de $1/3$ para macroporos e $2/3$ para microporos (**figura 11**).

Embora discrepante dos valores considerados ideais por Kiehl (1979), os valores de porosidade não interferiram na capacidade de aeração, infiltração, transporte, armazenamento e retenção, tanto de água quando de nutrientes. Isso ficou evidente na capacidade de condutividade hidráulica apresentada por este volume de solo de $188,64 \text{ mm/h}$.

No volume de solo descrito como B, constatou-se maior índice de densidade global de solo perfazendo $1,58 \text{ g/cm}^3$, também abaixo dos valores considerado como críticos por Reichert et. al. (2003).

Entretanto, esta densidade mais elevada do volume de solo B comparado ao volume de solo A acarretou menor porcentagem de porosidade total $33,72\%$. Esta porosidade total está dividida em macroporos $11,27\%$ e microporos $22,44\%$.

O valor de porosidade total do solo ficou abaixo do considerado por Kiehl (1979) como o solo ideal, que é composto por metade do volume ocupado por minerais e a outra metade do volume composta por poros. Entretanto, a divisão dessa porosidade entre macro e microporos fica dentro dos limites estabelecido pelo autor.

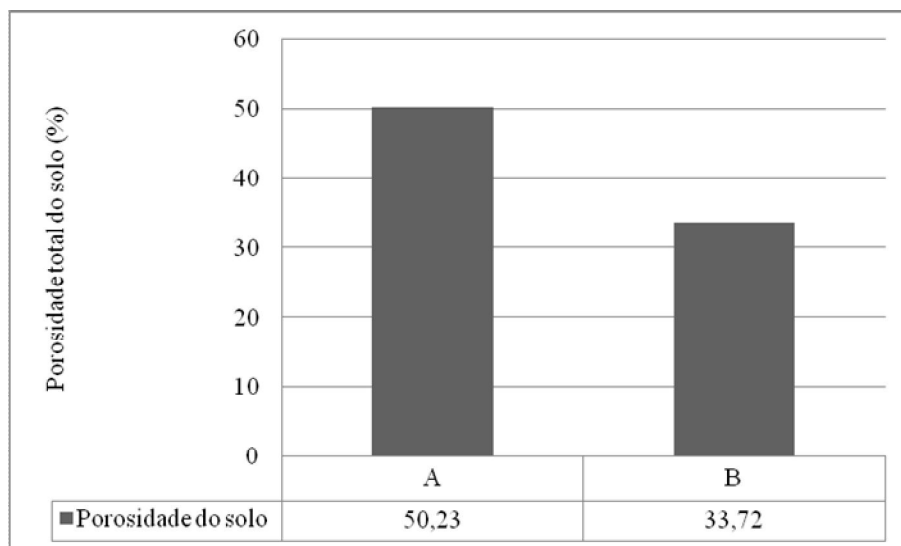


Figura 11 - Variações da porosidade do solo no Latossolo da Formação Caiuá sob a vegetação.

A condutividade hidráulica neste volume de solo, comparada ao volume de solo A do mesmo perfil, apresentou uma redução de aproximadamente 79,25% na capacidade de percolar fluido do solo, atingindo o valor de 39,14 mm/h (**figura 12**) e criando assim, no limite entre os dois volumes de solo, uma zona de truncamento na circulação hídrica, desencadeando a erosão horizontal interna responsável pelo movimento de pacotes de solos e pela formação das voçorocas, muito comuns em solos com pouca estabilidade da Formação Caiuá.

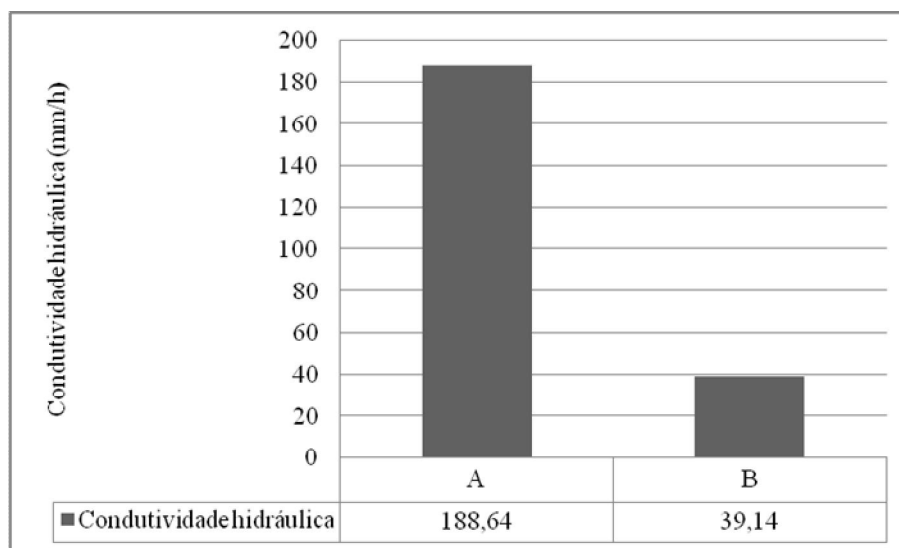


Figura 12 - Variações da condutividade hidráulica do solo no Latossolo da Formação Caiuá sob a vegetação.

As propriedades das partículas granulométricas destes volumes de solos apresentaram pequenas variações em suas composições na passagem do volume de solo A para o volume de solo B (**Quadro 3**).

O volume de solo A apresentou 89,68% de sua fração granulométrica composta por areia, 6,77%, argila e os 3,54% restantes por silte. Já o volume de solo B contou com 88,38% de sua fração granulométrica composta por areia, 7,72% composta por argila e os 3,86 % restantes composto por silte (**Figura 13**).

Verifica-se assim um maior acúmulo de argila no volume de solo B atingindo 14,03% a mais que no volume de solo A, bem como o teor de silte que atingiu o valor de 9,04% a mais no volume B em comparação ao volume A. Conseqüentemente houve redução no teor de areia, atingindo 1,45% menos areia no volume de solo B em relação ao A.

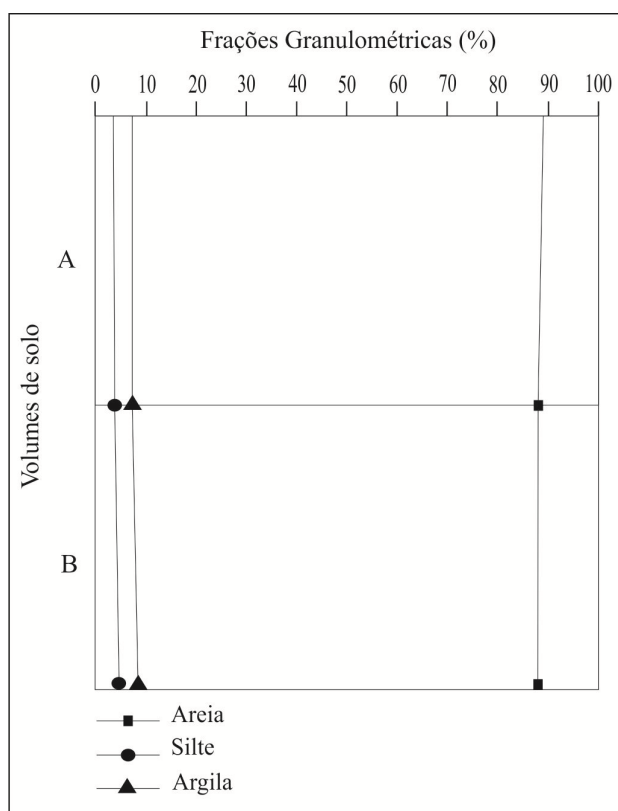


Figura 13 - Variações das frações granulométricas no Latossolo da Formação Caiuá sob a vegetação.

As partículas mais finas da composição granulométrica desses volumes de solos migram da superfície onde está o volume de solo A para subsuperfície onde se encontra o volume de solo B, contribuindo para o maior valor de partículas grosseiras na camada superficial do solo.

A quantidade de água que percola estes volumes de solo através da capacidade de condutividade hidráulica torna-se um importante veículo no transporte deste material.

Verifica-se que no volume de solo A, onde ocorre à perda de materiais finos, coincide com o maior índice de condutividade hidráulica.

No volume de solo B, onde a circulação de fluido é substancialmente menor, precisamente 79,25% vezes menor, há uma maior concentração de partículas finas de argila e silte comparada ao volume de solo A.

Essa situação descrita acima faz com que haja uma redução da quantidade de mobilização de materiais, proporcionando um acúmulo dessas partículas finas nestas camadas mais profundas do solo.

A análise dos elementos químicos presentes nos volumes A e B do perfil de solo sob cobertura vegetal atribuiu maior concentração no volume de solo A, consequência da presença de maior quantidade de matéria orgânica em decomposição que contribui para a reciclagem de minerais no solo (**Quadro 4**).

Elementos como $H^+ + Al^3$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e P apresentaram valores superiores no volume de solo A em comparação ao volume de solo B, atingindo respectivamente valores de 1,94 e 1,76 para $H^+ + Al^3$, 4,06 e 0,91 para Ca^{2+} , 1,47 e 0,69 para Mg^{2+} , 1,33 e 0,20 para K^+ , todos em $cmolc/dm^{-3}$. O P atingiu respectivamente 30,31 e 17,24 Mg/dm^{-3} . Nota-se, portanto uma significativa redução da quantidade desses elementos à medida que aprofunda-se no solo.

Os elementos C, H_2O e $CaCl_2$ apresentaram maiores valores no volume de solo B em comparação ao volume A de superfície, atingindo respectivamente para o volume de solo A e B valores de 6,62 e 6,92 g/dm^{-3} de C, o pH da H_2O foi de 6,84 e 6,92, e o pH do $CaCl_2$ foi de 5,73 e 5,81 respectivamente, refletindo portanto, uma inversão da tendência de maior concentração dos elementos junto ao volume de solo superficial.

O perfil de solo sob a cobertura vegetal não recebe adição de elementos químicos via fertilização, portanto, esses teores encontrados se devem a reposição natural do solo pela decomposição do material orgânico depositado pela vegetação que o recobre, tratando desta forma da fertilidade natural desta classe de solo.

O solo sob a cultura da cana-de-açúcar em área implantada por 30 anos aproximadamente, apresentou um volume de 0,5 cm de solo solto na superfície, caracterizado por textura arenosa, material este derivado da decomposição da Formação Caiuá e também de movimentação de materiais grosseiros do solo provenientes do escoamento superficial provocado pela declividade do relevo e pela falta de cobertura vegetal. Isto ocorre mesmo embora medidas de contenção de erosão sejam observadas com intensidade no manejo agrícola dos solos utilizados para a implantação da cana-de-açúcar (**figura 14**).

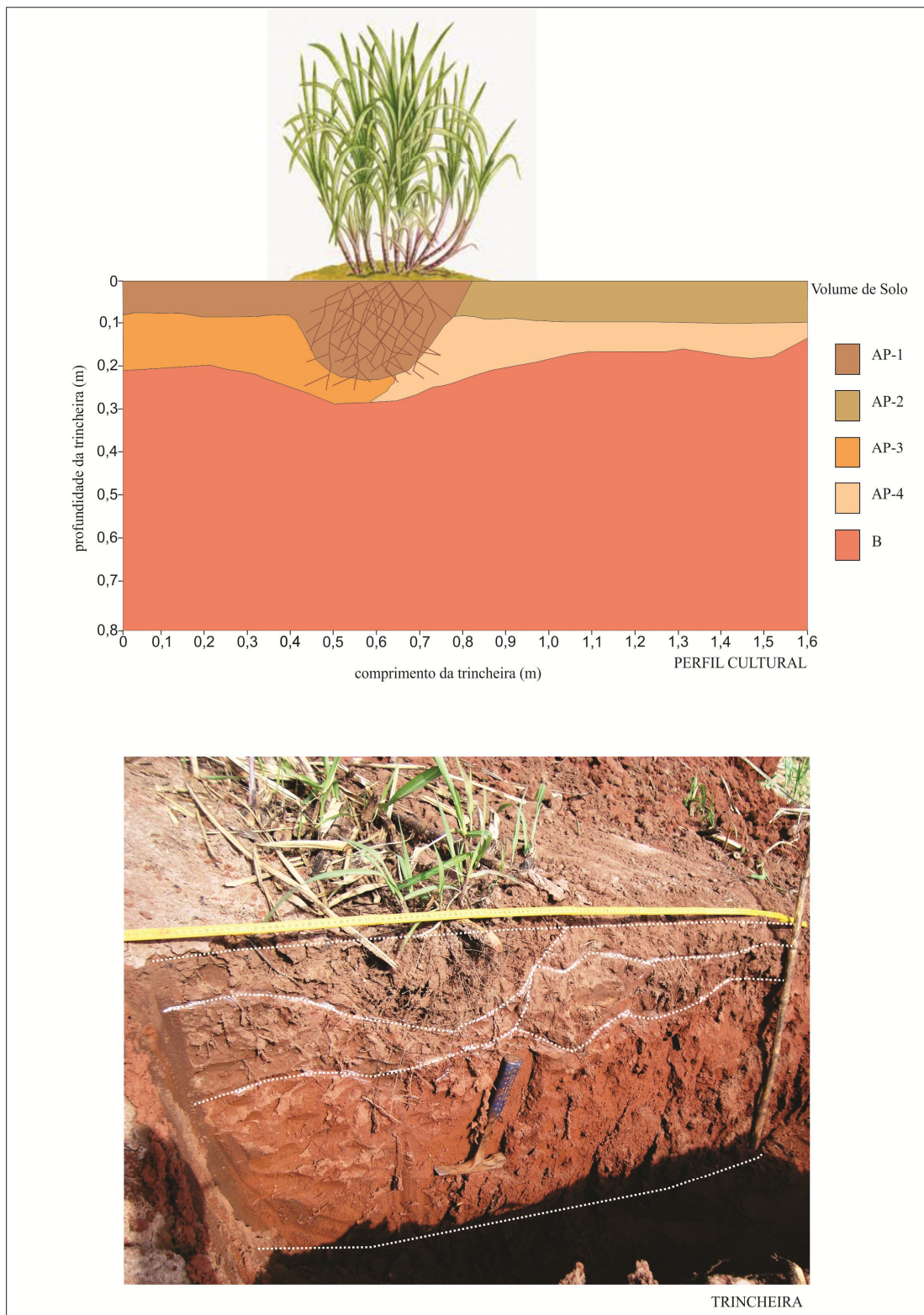


Figura 14 - Perfil cultural do solo sob Latossolo vermelho distrófico textura média da Formação Caiuá cultivado com cana-de-açúcar.

Dentre as práticas de contenção de erosão observadas na área, estão presentes o sistema de terraceamento, acompanhando a declividade do terreno, bem como o plantio em sulcos, acompanhando também a declividade do terreno. Essas práticas, embora minimizem os efeitos do escoamento superficial da água, não os neutralizam, uma vez que, com a prática agrícola e com a queimada da palha da cana para a realização da colheita, o solo fica completamente desnudo sem a presença de materiais orgânicos.

Esses materiais orgânicos provenientes dos restos culturais, quando depositados no solo, contribuem para a formação de barreiras naturais para o deslocamento da água, além de, quando decompostos, contribuírem para a cimentação de agregados, conferindo-lhes assim maior estabilidade ao solo. No manejo agrícola da cana-de-açúcar onde se utiliza a queimada como método para a realização da colheita perde-se completamente estes materiais.

Abaixo deste volume de solo solto se estendeu o volume de solo descrito como A. Por se tratar de uma área de manejo agrícola intenso, os efeitos das ações antrópicas estão presentes. Pode-se assim dividir este volume de solo em quatro volumes descritos como Ap-1, Ap-2, Ap-3 e Ap-4, de acordo com o grau de compactação observado no campo no momento da descrição morfológica e da descrição do perfil cultural do solo.

Esta grande quantidade de volume de solo individualizado dentro de um mesmo perfil se deve principalmente ao peso excessivo das máquinas agrícolas e ao intenso fluxo de trânsito das mesmas dentro da área de cultivo da cana-de-açúcar, uma vez que essa cultura apresenta um elevado nível de mecanização de suas operações de manejo.

O volume de solo Ap-1 se estendeu do início da trincheira até aproximadamente 0,8 m de comprimento no sentido horizontal, sendo que nos primeiros 0,4 m atingiu profundidade de 0,1 m, a partir daí aprofundou à 0,2 m, aprofundamento este que coincide com a linha de plantio da cana.

O volume Ap-1 apresentou cor 5YR-3/2 (marrom avermelhado escuro), com textura arenosa. A porosidade visível a olho nu foi do tipo pequena e fissural, embora a presença de fissura tenha sido pequena nestes volumes de solo Ap, devido principalmente a sua textura arenosa.

A porosidade no volume Ap-1, além de fissural, se desenvolve a partir da presença de raiz da cana de açúcar em grande quantidade, favorecida pela posição deste volume na trincheira, sendo o local onde está implantada a linha de plantio, e também pela pequena presença de insetos, sobretudo as formigas, que escavam pequenos canais por onde a água percola no solo.

A estrutura apresentada com base na descrição do perfil cultural do solo foi a AM, F, μ , volume de solo visivelmente alterado pelo manejo agrícola. O modo de organização do tipo F, onde o volume de solo apresenta pequenas fissuras em que a individualização de torrões é facilitada pelas mesmas, sendo este de tamanhos variados.

A porosidade é essencialmente fissural. A estrutura interna dos torrões do tipo μ , agregados não compactados, apresentando uma distribuição de agregados com estruturas internas e externas porosa, fácil de ser observada a olho nu, com predominância de poros do tipo amontoado de agregados.

Além disso, apresentou raízes intra e entre agregados, bem ramificadas, não achatadas, com orientação predominantemente vertical, embora tenha sido detectada a presença de adensamento e compactação provocada pelo pé do sulcador no momento do plantio da cana-de-açúcar e pelo rodado do trator no momento do fechamento do sulco com as mudas de cana dentro.

Continuando a descrição no sentido horizontal dentro da trincheira, encontra-se o volume de solo Ap-2, que se estende de 0,8 m a 1,6 m com profundidade de aproximadamente 0,08 m.

O volume Ap-2 apresentou cor 5YR-3/3 (marrom avermelhado escuro), com textura arenosa. A porosidade visível a olho nu foi do tipo pequena e fissural. A porosidade no volume Ap-2 é do tipo fissural, além de contar também com a pequena presença de insetos, sobretudo as formigas que escavam pequenos canais por onde a água percola no solo.

A estrutura apresentada com base na descrição do perfil cultural do solo foi a AM, volume de solo visivelmente alterado pelo manejo agrícola. O modo de organização do tipo F, onde o volume de solo apresenta pequenas fissuras em que a individualização de torrões é facilitada pelas mesmas, sendo estes de tamanhos variados.

A estrutura interna dos torrões do tipo $\mu\Delta$, agregados, que estão em processo de compactação, mas que ainda guardam predominantemente características do estado não compacto μ sobre as características do estado compacto Δ .

A presença de adensamento e compactação está relacionada ao rodado das máquinas agrícolas para o manejo da cana-de-açúcar, principalmente no momento da colheita e transporte.

Abaixo do volume de solo Ap-1 encontra-se o volume de solo Ap-3, que se estende do início da trincheira até 0,65 m, com profundidade variando entre 0,10 m e 0,20 m aproximadamente, a partir do 0,4 m de comprimento a profundidade oscila entre 0,15 m e 0,28 m aproximadamente.

O volume Ap-3 apresentou cor 5YR-4/4 (marrom avermelhado), e 2,5YR-4/8 (vermelho) com textura arenosa. A porosidade visível a olho nu foi do tipo pequena e fissural. A porosidade no volume Ap-3 é do tipo fissural, além de contar também com a pequena presença de insetos, sobretudo as formigas que escavam pequenos canais por onde a água percola no solo.

A estrutura apresentada com base na descrição do perfil cultural do solo foi a AM, volume de solo visivelmente alterado pelo manejo agrícola. O modo de organização do tipo F, onde o volume de solo apresenta pequenas fissuras, em que a individualização de torrões é facilitada pelas mesmas, sendo estes de tamanhos variados.

A estrutura interna dos torrões do tipo $\Delta\mu$, agregados, que estão bem compactos, mas que ainda guardam algumas características do estado compacto μ . A presença de adensamento e compactação visível a olho nu foi maior em relação aos volumes Ap de superfície e também está relacionada ao rodado das máquinas agrícolas para o manejo da cana-de-açúcar, principalmente no momento da colheita e transporte.

Abaixo do volume de solo Ap-2 encontra-se o volume de solo Ap-4, que se estende de 0,6 m até o fim da trincheira 1,6 m, com profundidade variando entre 0,10 m e 0,30 m nos primeiros 0,40 m e depois ficando menos profundo, oscila entre 0,10 m e 0,20 m aproximadamente.

O volume Ap-4 apresentou cor 5YR-4/4 (marrom avermelhado), e 5YR-6/6 (amarelo avermelhado) com textura arenosa. A porosidade visível a olho nu foi do tipo pequena, fissural e pouco desenvolvida. A porosidade no volume Ap-4, além ser do tipo fissural, conta também com a presença de poucas raízes não ramificadas, achatadas e tortuosas, orientadas horizontalmente nos primeiros 0,40 m devido se posicionarem abaixo da linha do plantio da cana. Houve também presença de insetos, sobretudo de formigas, que escavam pequenos canais aumentando assim a porosidade do solo.

A estrutura apresentada com base na descrição do perfil cultural do solo foi a AM, volume de solo visivelmente alterado pelo manejo agrícola.

A estrutura interna dos torrões do tipo Δ onde os estados internos dos torrões estão bastante compactados, caracterizados por uma distribuição de agregados com estrutura angulosa devido à forte pressão externa causada pelo rodado das máquinas.

O volume de solo B se estende de 0,2 m a 0,25 m até 0,80 m, que é o limite em profundidade trincheira, ocupando toda a sua extensão no sentido horizontal. O volume de solo B apresentou cor 2,5YR-3/6 (marrom oliva escuro), textura arenosa. A porosidade visível

a olho nu foi do tipo fraca, com pequena rede de poros e fissural, a presença de atividade biológica foi inexpressiva neste volume de solo.

A estrutura apresentada com base na descrição do perfil cultural do solo foi a AM, $\Delta\mu$, C, volume de solo visivelmente alterado pelo manejo e em que os elementos estão unidos formando um volume bastante homogêneo, com aspecto de estrutura maciça, sendo possível a individualização de torrões a olho nu. A estrutura interna dos torrões do tipo $\Delta\mu$, agregados que estão bem compactos, mas que ainda guardam algumas características do estado compacto μ .

Ao analisar em laboratório as condições físicas e químicas dos volumes de solos Ap sob a cultura de cana-de-açúcar, constatou-se significativas variações das principais características, principalmente com relação a densidade global, porosidade total do solo e condutividade hidráulica (**Quadro 5**).

Quadro 5 - Caracterização física do LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico textura média (Formação Caiuá) sob cultivo de cana-de-açúcar.

LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico textura média (Formação Caiuá) sob o cultivo de cana-de-açúcar.									
Característica da trincheira		Caracterização física					Composição granulométrica		
Volume de solo	Profundidade (m)	Condutividade Hidráulica (mm/h)	Densidade do Solo (g/cm ³)	Porosidade Total (%)	Macroporosidade (%)	Microporosidade (%)	Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)
AP-1	0,0 – 0,1	15,59	1,59	35,22	12,17	23,04	5,42	6,67	87,90
AP-2	0,0 – 0,1	14,22	1,59	35,32	12,39	22,93	6,15	5,97	87,33
AP-3	0,1 – 0,2	1,52	1,72	30,21	9,02	21,19	5,74	7,97	86,28
AP-4	0,1 – 0,2	5,62	1,64	33,37	11,32	22,05	5,56	6,82	87,61
B	0,2 – 0,8	1,33	1,77	28,93	8,25	20,68	4,76	11,32	83,91
Média total		7,65	1,66	32,61	10,63	21,97	5,52	7,75	86,60

Quadro 6 - Caracterização química do LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico textura média (Formação Caiuá) sob cultivo de cana-de-açúcar.

Composição química (macronutrientes) Latossolo textura média (Formação Caiuá) sob o cultivo de cana-de-açúcar.											
Característica da trincheira		Acidez extraível		Bases trocáveis			Soma das Bases (S)	Fósforo assimilável	pH		Carbono orgânico
Volume de solo	Profundidade (m)	H ⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺		P	H ₂ O	CaCl ₂	C
		-----cmol _c /dm ⁻³ -----						mg/dm ⁻³ .			g/dm ⁻³ .
AP-1	0,0 – 0,1	1,52	0,0	2,50	1,34	0,37	4,21	31,66	6,68	5,85	7,01
AP-2	0,0 – 0,1	1,51	0,0	2,70	1,40	0,23	4,33	24,61	6,78	5,88	3,94
AP-3	0,1 – 0,2	1,52	0,0	2,02	1,48	0,06	3,56	11,38	6,90	5,91	3,72
AP-4	0,1 – 0,2	1,52	0,0	2,47	1,60	0,17	4,24	10,68	6,91	5,90	3,89
B	0,2 – 0,8	3,36	0,0	0,60	0,72	0,11	1,43	4,02	6,98	5,91	3,11

A composição granulométrica do volume de solo Ap-1 contou como 87,90% do total composto por areia, 6,67% composto de argila e os 5,42% restantes por silte (**figura 15**).

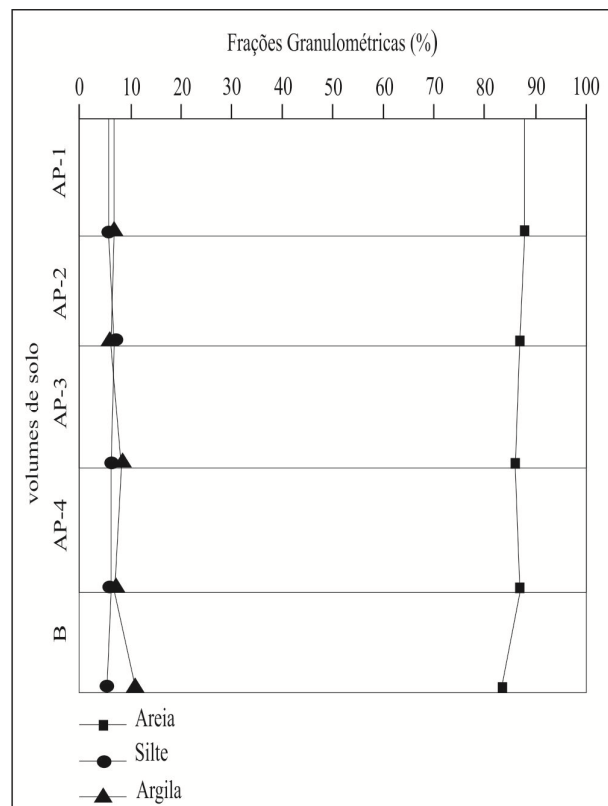


Figura 15 - Variações das frações granulométricas no Latossolo da Formação Caiuá sob cultivo da cana-de-açúcar.

A densidade global do solo encontrada no volume Ap-1 foi de 1,59 g/cm³, mantendo-se abaixo dos valores considerados como críticos por Reichert et. al. (2003) para solos francos e arenosos (**figura 16**).

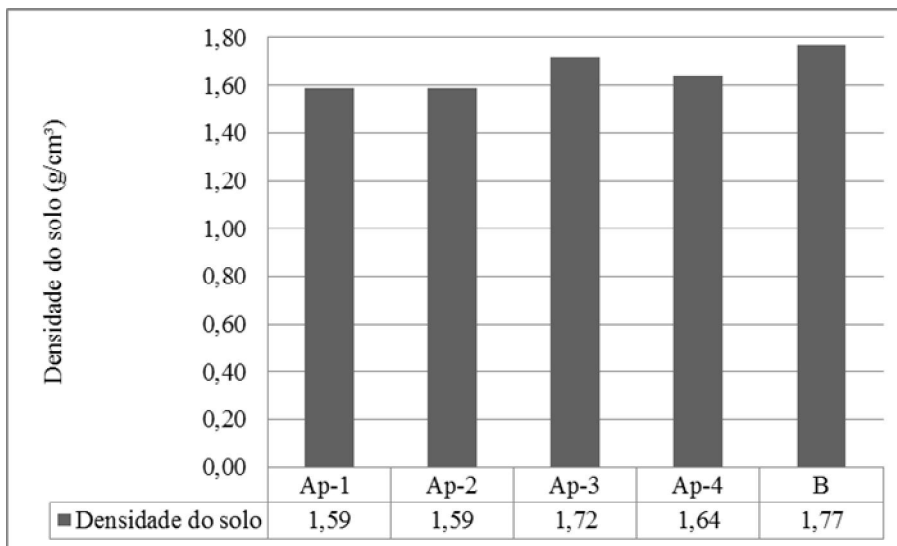


Figura 16 - Variações da densidade do solo no Latossolo da Formação Caiuá sob cultivo da cana-de-açúcar.

A porosidade total do solo no volume Ap-1 foi de 35,22%, sendo dividida em macroporosidade, 12,17% e microporosidade, 23,04% do total. A divisão da porosidade de solo apresentou concordância como o que Kiehl (1979) considera como sendo a porosidade ideal do solo de 1/3 para macroporos e 2/3 para microporos (**figura 17**).

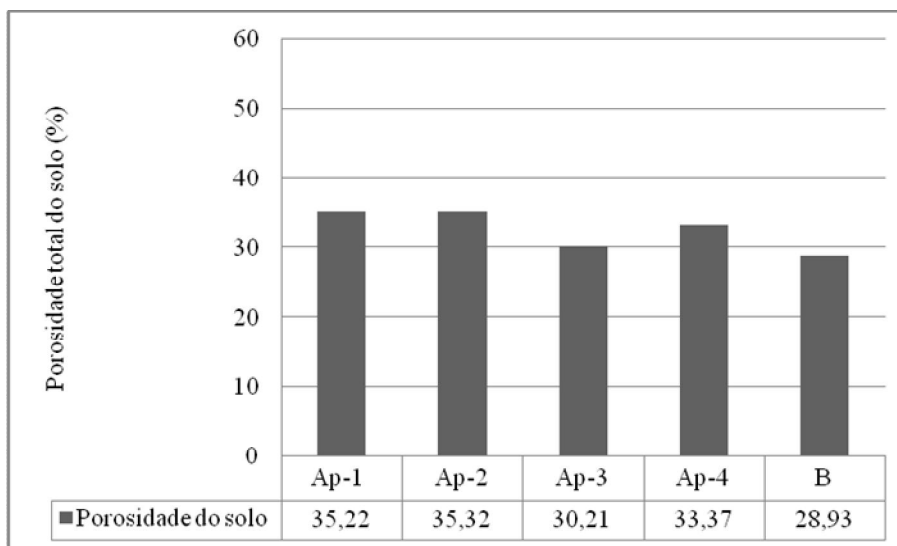


Figura 17 - Variações da porosidade do solo no Latossolo da Formação Caiuá sob cultivo da cana-de-açúcar.

Embora os valores de macroporosidade e microporosidade sejam concordantes com o solo considerado ideal por Kiehl (1979), a porcentagem da porosidade total ficou bem abaixo

dos 50% do total do solo ocupado por espaços porosos, atingindo apenas 35,22%, o que implica em uma redução de 29,56% no valor considerado ideal.

O valor elevado, embora não considerado crítico, apresentado para a densidade global do solo e associado à baixa porosidade do solo afeta diretamente a capacidade de condutividade hidráulica, fazendo com que o valor apresentado para o volume de solo Ap-1 seja de apenas 15,59 mm/h (**figura 18**).

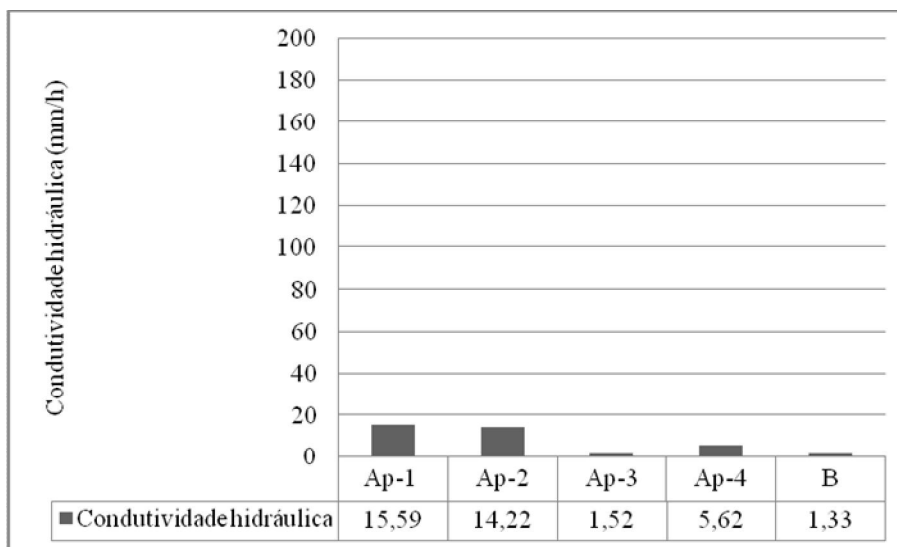


Figura 18 - Variações da condutividade hidráulica do solo no Latossolo da Formação Caiuá sob cultivo da cana-de-açúcar.

A composição dos elementos químicos no volume de solo Ap-1 foi de 1,52 cmolc/dm⁻³ para H⁺+Al³, 2,50 cmolc/dm⁻³ para Ca²⁺, 1,34 cmolc/dm⁻³ para Mg²⁺, 0,37 cmolc/dm⁻³ para K⁺, 31,66 mg/dm⁻³ para P e 7,01 g/dm⁻³ para C. O pH deste volume de solo foi de 6,68 para a H₂O e 5,85 para CaCl₂ (**Quadro 6**).

A densidade global do solo encontrada no volume Ap-2 foi de 1,59 g/cm³, valor igual ao encontrado no volume de solo Ap-1. A porosidade total do solo no volume Ap-2 foi de 35,32%, sendo dividida em macroporosidade 12,39% e microporosidade 22,93% do total, valores também próximos aos encontrados no volume de solo Ap-1 (**figura 16**).

A porosidade total de 35,32% no volume de solo Ap-2 ficou abaixo dos 50% considerados como ideais, com uma defasagem de 29,36% no valor considerado ideal, apresentando portanto, uma melhor distribuição entre os poros do solo se comparado ao volume Ap-1, onde a defasagem foi de 29,56% (**figura 17**).

A capacidade de condutividade hidráulica do volume Ap-2 foi de 14,22 mm/h. Este baixo valor se deve aos elevados índices apresentados para a densidade global do solo e a

baixa porosidade, propriedades que afetam diretamente a capacidade de percolação dos fluídos do solo. Embora o volume de solo Ap-2 tenha apresentado uma rede de porosidade mais densa que o volume Ap-1- e portanto melhores condições físicas, visto que os valores de densidade global foram iguais para os dois volumes - a condutividade hidráulica apresentou uma redução no volume de solo Ap-2 de 8,79% (**figura 18**).

A composição granulométrica do volume de solo Ap-2 contou com 87,33% do total composto por areia, 5,97% composto de argila e os 6,15% restantes por silte (**figura 15**).

Comparando as composições granulométricas dos dois volumes de solos superficiais desta classe de solo, constatou-se variações em seus valores de areia, ocorrendo uma redução no volume Ap-2 de 0,73% em relação ao Ap-1, passando de 87,90% para 87,33% respectivamente. O volume de argila encontrado no volume Ap-1 de 6,67% apresentou redução de 10,49% em seu valor se comparado com os 5,97% da composição argilosa do Ap-2.

Já o Silte foi o único elemento que apresentou acréscimo no volume Ap-2 em relação ao Ap-1, passando respectivamente de 5,42% para 6,15%, havendo portanto um acréscimo de 13,47% em seu valor no volume de solo Ap-2.

O volume de solo Ap-1 contou com 12,09% do total de sua composição granulométrica composta por partículas finas (argila e silte) e os 87,90% restantes por partículas grosseiras (areia). Já o volume de solo Ap-2 contou com 12,12% do total de sua composição granulométrica composto por partículas finas (argila e silte) e os 87,33% restantes por partículas grosseiras (areia).

O volume de solo Ap-2 contou com um acréscimo de 0,25% na quantidade das partículas finas em detrimento da redução de 0,65% nas partículas grosseiras em sua composição granulométrica. Estas partículas finas do solo penetram pelos canais da rede de poros causando impedimento da circulação de fluídos e redução na capacidade de condutividade hidráulica. Estes acréscimos na composição dessas partículas finas do solo colaboram para a redução de 8,79% na condutividade hidráulica apresentada neste volume de solo em comparação ao Ap-1, visto que as demais propriedades físicas analisadas apresentaram características idênticas ou superiores ao volume de solo Ap-2.

A composição dos elementos químicos no volume de solo Ap-2 foi de 1,51 cmolc/dm⁻³ para H⁺+Al³, 2,70 cmolc/dm⁻³ para Ca²⁺, 1,40 cmolc/dm⁻³ para Mg²⁺, 0,23 cmolc/dm⁻³ para K⁺, 24,61 mg/dm⁻³ para P e 3,94 g/dm⁻³ para C. O pH deste volume de solo foi de 6,78 para a H₂O e 5,88 para CaCl₂ (**Quadro 6**).

A maior quantidade de concentração de elementos no volume de solo Ap-1 deve-se, principalmente, ao fato de este estar inserido, em sua extensão, à linha de plantio de cana e receber, no momento do plantio, uma grande quantidade de fertilizante concentrado no sulco onde é depositado a muda da cana.

Os dois primeiros volumes de solos encontrados mais próximos à superfície com profundidade de aproximadamente 0,20 m a 0,25 m apresentaram características físicas e hídricas semelhantes (**Quadro 5**).

Por se encontrarem nas mesmas posições no perfil, estes volumes recebem as mesmas influências do manejo agrícola no que se referem à mecanização do solo, plantio da cana-de-açúcar, colheita e transporte, onde é exercido um peso extremo sobre as camadas do solo proveniente ao intenso fluxo de máquinas de grande porte nessas operações.

Após realizar a colheita da cana-de-açúcar, a operação da fertilização do solo é feita revolvendo a camada superficial do solo em até 0,20 m de profundidade, contribuindo para desfragmentar o adensamento provocado pelo peso das máquinas que trafegam sobre o solo, operação esta que é repetida todos os anos.

O revolvimento da camada superficial do solo contribui para expandir a rede de porosidade e conseqüentemente aumentar a capacidade de condutividade hidráulica, percolando uma quantidade maior de água da chuva, tornando maior a quantidade disponível para as plantas.

A água da chuva que infiltra com mais facilidade no solo revolvido pelo cultivo, contribui para diminuir o escoamento superficial que terrenos inclinados associados a solos com pouca estabilidade desencadeiam e aceleram os processos erosivos.

Além disso, essas camadas superficiais do solo onde as propriedades físicas do solo são modificadas pelo peso excessivo das máquinas causando o adensamento e compactação, são posteriormente revolvidas, melhorando a rede de poros. Os fluídos que percolam agem como importante veículo para o transporte de minerais até as raízes das plantas.

Os volumes de solo Ap-3 e Ap-4 encontram-se posicionados de maneira semelhante na trincheira, ambos estando nas mesmas profundidades, assim como posicionados abaixo do horizonte superficial, portanto, com características físicas e químicas semelhantes (**Quadro 5**).

A densidade global do solo encontrada no volume Ap-3 foi de 1,72 g/cm³, atingindo os valores considerados como críticos por Reichert et. al. (2003) para solos francos e arenosos, que residem entre 1,6 a 1,8 g/cm³ (**figura 16**).

A porosidade total do solo no volume Ap-3 foi de 30,21%, sendo dividida em macroporosidade 9,02%, e microporosidade 21,19% do total. A divisão da porosidade de solo apresentou concordância como o que Kiehl (1979) considera como sendo a porosidade ideal do solo de 1/3 para macroporos e 2/3 para microporos (**figura 17**).

A porcentagem da porosidade total ficou bem abaixo dos 50% do total do solo ocupado por espaços porosos, atingindo apenas 30,21%, o que implica em uma redução de 39,58% no valor considerado ideal Kiehl (1979).

Os elevados valores de densidade global do solo, associados à baixa porosidade total, afetam diretamente a capacidade de condutividade hidráulica fazendo com que o valor apresentado para o volume de solo Ap-3 seja de apenas 1,52 mm/h (**figura 18**).

A composição granulométrica do volume de solo Ap-3 contou como 86,28% do total composto por areia, 7,97% composto de argila e os 5,74% restantes por silte (**figura 15**).

A composição dos elementos químicos no volume de solo Ap-3 foi de 1,52 cmolc/dm⁻³ para H⁺+Al³, 2,02 cmolc/dm⁻³ para Ca²⁺, 1,48 cmolc/dm⁻³ para Mg²⁺, 0,06 cmolc/dm⁻³ para K⁺, 11,38 mg/dm⁻³ para P e 3,72 g/dm⁻³ para C. O pH deste volume de solo foi de 6,90 para a H₂O e 5,91 para CaCl₂ (**Quadro 6**).

A densidade global do solo encontrada no volume Ap-4 foi de 1,64 g/cm³, valor menor que o encontrado no volume de solo Ap-3 posicionado na mesma profundidade. A porosidade total do solo no volume Ap-3 foi de 33,37%, sendo dividida em macroporosidade 11,32%, e microporosidade 22,05% do total, distribuição mais próxima do considerado ideal se comparado aos valores encontrados no volume de solo Ap-4 para macro e microporosidade (**Quadro 5**).

A porosidade total no volume Ap-4 apresentou uma defasagem de 33,26% em relação aos 50% considerados como valor ideal, apresentando entretanto uma melhor distribuição entre os espaços ocupados pelos minerais e pelos poros do solo, se comparado ao volume Ap-4, onde a defasagem foi de 39,60%.

A capacidade de condutividade hidráulica do volume Ap-4 foi de 5,62 mm/h, valor superior em 269,74% a mais que a encontrado no volume Ap-3 que foi de 1,52 mm/h. Estes baixos valores se devem aos elevados índices apresentados para a densidade global do solo e a baixa porosidade, propriedades que afetam diretamente a capacidade de percolação dos fluídos do solo.

O volume de solo Ap-4 apresentou características físicas superiores ao Ap-3, embora estando nas mesmas profundidades, e recebendo as mesmas influências do manejo agrícola. A

densidade global do solo no volume Ap-4 foi 4,65% menor que no Ap-3, colaborando para o desenvolvimento de uma rede porosa 6,92% maior que Ap-3 (**Quadro 5**).

A composição granulométrica do volume de solo Ap-4 contou como 87,61% do total composto por areia, 6,82% composto de argila e os 5,56% restantes por silte.

Comparando as composições granulométricas dos dois volumes de solos subsuperficiais desta classe de solo, constatou-se variações em seus valores de areia, ocorrendo um acréscimo no volume Ap-3 de 1,54% em comparação ao Ap-4, passando de 86,28% para 87,61% respectivamente. O volume de argila encontrado no volume Ap-3 foi 16,86% maior que o encontrado no Ap-4. O silte no volume Ap-3 foi 3,24% maior que no Ap-4.

Desta forma, o volume de solo Ap-3 contou com 13,72% do total de sua composição granulométrica composta por partículas finas (argila e silte) e os 86,28% restantes por partículas grosseiras (areia). Já o volume de solo Ap-4 contou com 12,39% do total de sua composição granulométrica composto por partículas finas (argila e silte) e os 87,61% restantes por partículas grosseiras (areia).

O volume de solo Ap-3 contou com 10,73% a mais que o volume de solo Ap-4 na quantidade das partículas finas em detrimento às partículas grosseiras em sua composição granulométrica. Estas partículas finas do solo penetram pelos canais da rede de poros causando impedimento da circulação de fluídos e redução na capacidade de condutividade hidráulica. Estes acréscimos na composição dessas partículas finas do solo, juntamente com a maior densidade global e a menor porosidade total, colaboram para a redução na condutividade hidráulica apresentada neste volume de solo em comparação ao Ap-4.

A composição dos elementos químicos no volume de solo Ap-4 foi de 1,52 cmolc/dm^{-3} para $\text{H}^+ + \text{Al}^3$, 2,47 cmolc/dm^{-3} para Ca^{2+} , 1,60 cmolc/dm^{-3} para Mg^{2+} , 0,17 cmolc/dm^{-3} para K^+ , 10,68 mg/dm^{-3} para P e 3,89 g/dm^{-3} para o C. O pH deste volume de solo foi de 6,91 para a H_2O e 5,90 para CaCl_2 (**Quadro 6**).

Os elementos químicos com maior concentração no volume de solo Ap-3 em comparação ao Ap-4 foram o P, que foi 6,6% maior, e o pH do CaCl_2 , que foi 0,2%. O $\text{H}^+ + \text{Al}^3$ apresentou valor idêntico nos dois volumes de solo. Todos os demais elementos analisados apresentaram maior concentração no volume Ap-4, sendo que Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , C e o pH do H_2O foram respectivamente 22,5%, 8,2%, 184,0%, 4,7% e 0,2% maiores no volume de solo Ap-4 em comparação ao volume Ap-3.

Dentro do perfil analisado constata-se semelhança nas propriedades físicas, químicas e hídricas entre os volumes Ap-3 e Ap-4, devido principalmente a sua posição na trincheira,

pois ambos encontram-se à mesma profundidade, o que implica no recebimento das mesmas influências do manejo agrícola. No que se refere a mecanização do solo, plantio da cana-de-açúcar, colheita e transporte, é exercido um peso extremo sobre as camadas do solo proveniente ao intenso fluxo de máquinas de grande porte nessas operações.

Esses dois volumes de solo, por encontrarem-se em uma profundidade de aproximadamente 0,2 m e 0,25 m – além, portanto, da alcançada pelo escarificador no momento da aplicação do fertilizante na cana-de-açúcar - não tem seu volume de solo revolvido nesta operação.

Os volumes de solo Ap-3 e Ap-4 recebem portanto, apenas os efeitos da compactação pelo peso das máquinas agrícolas que transitam sobre o solo, apresentando assim elevados índices de densidade devido a ausência de revolvimento de sua camada, o que contribuiria para a expansão da rede de porosidade e aumento da capacidade de condutividade hidráulica.

A densidade global do solo encontrada no volume B foi de 1,77 g/cm³, valor considerado como crítico por Reichert et. al. (2003) para solos francos e arenosos. A porosidade total do solo no volume B foi de 28,93%, sendo dividida em macroporosidade 8,25%, e microporosidade 20,68% do total (**Quadro 5**).

A porcentagem da porosidade total ficou bem abaixo dos 50% do total do solo ocupado por espaços porosos, atingindo apenas 28,93%. Isso implica em uma redução de 42,14% no valor considerado ideal por Kiehl (1979).

O valor elevado apresentado para a densidade global do solo associado à baixa porosidade deste, afeta diretamente a capacidade de condutividade hidráulica, fazendo com que o valor apresentado para o volume de solo B seja de apenas 1,33 mm/h.

A composição granulométrica do volume de solo B contou como 83,91% do total composto por areia, 11,32% composto de argila e os 4,73% restantes por silte (**Quadro 5**).

A composição dos elementos químicos no volume de solo B foi de 3,36 cmolc/dm⁻³ para H⁺+Al³, 0,60 cmolc/dm⁻³ para Ca²⁺, 0,72 cmolc/dm⁻³ para Mg²⁺, 0,11 cmolc/dm⁻³ para K⁺, 4,02 mg/dm⁻³ para P e 3,11 g/dm⁻³ para C. O pH deste volume de solo foi de 6,98 para a H₂O e 5,91 para CaCl₂ (**Quadro 6**).

A partir da comparação entre os valores obtidos em profundidade para as propriedades físicas e químicas do solo, é possível apontar três zonas distintas de influência do manejo agrícola.

A primeira zona de influência concentra-se aproximadamente nos primeiros 0,10 m de profundidade, compreendendo os volumes de solo Ap-1 e Ap-2, onde os índices de densidade

do solo são os mais baixos de todo o perfil, com valores de 1,59 g/cm². A porosidade total atingindo valores de 35,22% e 35,32%, possibilitando uma condutividade hidráulica de 15,59 mm/h e 14,22 mm/h. Esta zona do perfil recebe influência do manejo agrícola principalmente no que se refere à compactação, pois está em contato direto com o peso das máquinas e o elevado fluxo de trânsito (**Quadro 5**).

Entretanto, esta zona conta com a vantagem de estar na superfície e ser revolvida pelo escarificador no momento da fertilização da plantação, conferindo-lhe assim, a descompactação mecânica do solo, possibilitando o aumento da rede de poros e consequentemente a elevação da capacidade de condutividade hidráulica.

A segunda zona de influência concentra-se aproximadamente entre os 0,10 m até os 0,20 m de profundidade, compreendendo os volumes de solo Ap-3 e Ap-4, nos quais os índices de densidade do solo elevam-se para 1,72 g/cm³ e 1,64 g/cm³. A porosidade total reduz para 30,21% e 33,37%, assim como a condutividade hidráulica diminui para 1,52 mm/h e 5,62 mm/h, respectivamente. Esta zona do perfil recebe influência do manejo agrícola principalmente no que se refere à compactação, pois está em contato direto com o peso das máquinas e o elevado fluxo de trânsito (**Quadro 5**).

Esta zona, por estar em subsuperfície, não conta com a vantagem de ser revolvida pelo escarificador no momento da fertilização da plantação, e por isso apresenta características físicas inferiores à zona imediatamente acima. Entretanto, a cada 5 anos aproximadamente, no momento da reforma da cultura da cana e durante a mecanização do solo para a implantação de um novo ciclo, esta zona passa por um processo de revolvimento, conferindo-lhe melhores condições físicas do que a terceira zona, logo abaixo.

A terceira zona de influência concentra-se abaixo dos 0,20 m de profundidade, compreendendo o volume de solo B, onde o índice de densidade do solo eleva-se para 1,77 g/cm³. A porosidade total é reduzida para 28,93%, e a condutividade hidráulica diminui para 1,33 mm/h. Esta zona do perfil recebe influência do manejo agrícola principalmente no que se refere à compactação, e não se beneficia de nenhum tipo de revolvimento mecânico de seu volume. Sendo assim, é a camada mais compacta do perfil e a que conta com os piores índices de propriedade física (**Quadro 5**).

Pode-se constatar que a densidade do solo foi aumentada nas zonas de influência do manejo agrícola à medida que aprofunda no perfil. Na primeira zona a densidade global média foi de 1,59 g/cm³, na segunda foi de 1,68 g/cm², e na terceira foi de 1,77 g/cm³, elevando-se assim 5,66% da primeira para a segunda zona e 5,36% da segunda para terceira.

Com a porosidade, o comportamento em relação à influência do manejo agrícola foi semelhante, embora seja inversamente proporcional ao da densidade do solo. A média da porosidade total do solo na primeira zona foi de 35,27%, na segunda zona foi de 31,79% e na terceira zona foi de 28,53%, apresentando um percentual de redução da primeira para a segunda zona de 9,87%, e da segunda para a terceira de 10,25%.

A condutividade hidráulica, assim como a porosidade, foi diminuindo à medida que se aprofunda no perfil do solo. Na superfície onde está a primeira zona de influência do manejo agrícola, a média da condutividade hidráulica foi de 14,90 mm/h, na segunda zona a média foi de 3,57 mm/h, e na terceira zona 1,33 mm/h, apresentando um percentual de redução da primeira para a segunda zona de 76,40%, e da segunda para a terceira de 62,75%.

Com base nos dados da condutividade hidráulica pode-se apontar para este perfil duas regiões de truncamento de circulação hídrica: um na passagem da primeira zona para a segunda, dentro dos volumes de solo Ap, e outro da segunda para a terceira zona, coincidindo com a passagem do volume Ap para o B. No perfil sob vegetação, na mesma classe de solo, foi encontrado apenas uma zona de truncamento hídrico na passagem do volume A para o volume B.

Se a comparação entre os diferentes volumes de solo do mesmo perfil demonstra os efeitos do manejo agrícola da cana-de-açúcar sobre as propriedades físicas do solo, esta realidade é ampliada quando comparamos o perfil utilizado para o cultivo com o perfil sob a vegetação, caracterizado pelo equilíbrio natural entre as propriedades do solo.

O perfil sob vegetação, caracterizado pelo estado natural das propriedades físicas do solo, apresentou em toda a extensão da trincheira apenas dois volumes de solo: o volume A e o volume B. Já o perfil de solo utilizado para cultura da cana-de-açúcar apresentou cinco volumes de solo, sendo quatro volumes Ap e um volume B. O início do volume B para os dois perfis encontra-se em profundidade semelhante, aproximadamente 0,20 m.

A disparidade aumenta quando se comparam as características das propriedades físicas dos dois perfis sob a mesma classe de solo. A média de densidade de solo entre os quatro volumes de solo Ap no perfil cultivado com a cana-de-açúcar foi de 1,65 g/cm³, portanto, 27,91% mais denso que o perfil sob vegetação, onde a densidade foi de apenas 1,2 g/cm³. Nota-se aqui que no perfil sob a vegetação, a densidade do solo ficou abaixo do considerado crítico, ao passo que, no perfil sob o cultivo, o valor atingiu o estágio considerado como crítico por Reichert et. al. (2003).

No volume de solo B do perfil cultivado com a cana-de-açúcar a densidade foi de 1,77 g/cm³, 12,74% mais denso que no perfil sob a vegetação, que foi de 1,57 g/cm³. Nota-se,

portanto, que a alteração na densidade do solo é maior nos horizontes superficiais, embora sejam revolvidos todos os anos no momento da operação do cultivo da cana-de-açúcar para a fertilização.

A porosidade total do solo é outra propriedade que expressa bem o nível de influência que o manejo agrícola exerce sobre os volumes. A média do percentual de porosidade entre os quatro volumes Ap no perfil cultivado com a cana-de-açúcar foi de 33,53%, ficando 33,25% abaixo do volume A sob cobertura vegetal, que apresentou porosidade total de 50,23%. Nota-se aqui que no perfil sob a vegetação, a porosidade atingiu o valor considerado ideal para a porosidade do solo de acordo com Kiehl (1979), que é de 50% do volume ocupado por espaço poroso. Já no solo cultivado com a cana-de-açúcar esse valor foi bem aquém.

A influência do manejo agrícola na porosidade total do solo é sentido também no volume B do perfil sob a cana-de-açúcar, que atingiu o valor de 28,93%, concentrando assim 13,49% menos poros que o volume B sob a vegetação, que atingiu 33,44%.

A condutividade hidráulica do solo é condicionada principalmente pelas condições de compactação expressa pela densidade, pela rede de porosidade total, e como essa porosidade está distribuída entre macroporos e microporos.

A condutividade média nos quatro volumes Ap no perfil cultivado com a cana-de-açúcar foi de 9,23 mm/h ficando 95,11% abaixo da condutividade apresentada pelo volume A da mesma classe de solo porém sob vegetação que foi de 188,64 mm/h.

No volume de solo B no perfil cultivado com a cana-de-açúcar, a condutividade hidráulica foi de 1,33 mm/h, ficando 96,60% abaixo da condutividade apresentada pelo volume B da mesma classe de solo, porém, sob a vegetação, que foi de 39,14 mm/h.

5.2 LATOSSOLO VERMELHO eutroférico típico textura argilosa

O Latossolo Vermelho eutroférico típico textura argilosa encontrado no município se desenvolveu sobre a Formação Serra Geral em relevos planos e suaves ondulados. Esses solos se caracterizam por apresentarem um intenso grau de intemperização, boa drenagem, ausência de concreções lateríticas bem como textura argilosa.

A descrição do perfil cultural do Latossolo Vermelho distrófico demonstrou significativas variações nas condições físicas e hídricas do solo manejado com a cultura da cana de açúcar em comparação com a mesma classe, mantido em condições naturais sob a cobertura florestal.

O solo sob a cobertura florestal, caracterizado por estar em condições naturais, apresentou um volume medindo aproximadamente 0,05 m de matéria orgânica.

Abaixo deste volume de matéria orgânica, encontra-se o primeiro horizonte mineral de solo caracterizado e descrito como volume de solo A, com profundidade variando entre 0,05 e 0,30 m na trincheira descrita (**Figura 19**).

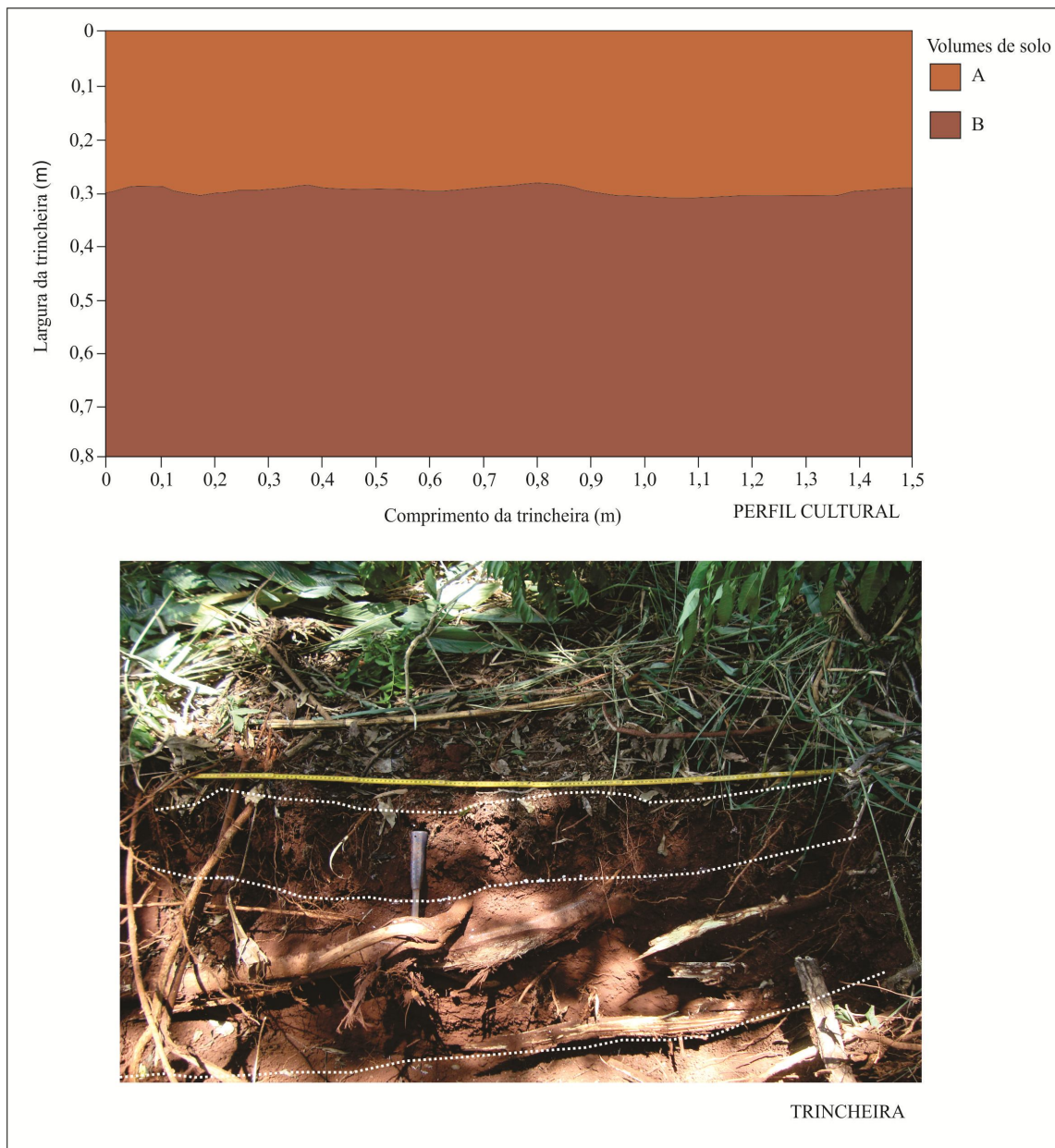


Figura 19 - Perfil cultural do solo sob Latossolo vermelho eutroférrico textura argilosa da Formação Serra Geral sob a cobertura vegetal.

Este volume de solo A apresentou cor 2,5YR-2,5/4 (marrom avermelhado escuro), com textura argilosa. A porosidade visível a olho nu foi do tipo forte e tubular, desenvolvida a partir da grande presença de raiz e insetos neste volume de solo.

A estrutura apresentada com base na descrição do perfil cultural do solo foi a NAM, volume de solo visivelmente não alterado pelo manejo agrícola. A estrutura interna dos torrões do tipo μ , agregados não compactados, apresentando uma distribuição de agregados com estruturas interna e externa porosa fácil de ser observada a olho nu, com predominância de poros do tipo amontoado de agregados.

Além disso, apresentou raízes intra e entre agregados, bem ramificadas, não achatadas, com orientação predominantemente vertical. Não foi detectada a presença de adensamento e compactação uma vez que o solo se encontra recoberto por vegetação nativa.

Logo em seguida aparece o segundo horizonte mineral descrito como volume de solo B, este seguiu além dos limites da descrição que foi de aproximadamente 80 cm de profundidade (**Figura 19**).

O volume de solo B apresentou cor 2,5YR-4/6 (vermelho), textura argilosa. A porosidade visível a olho nu foi do tipo forte e tubular, embora a presença de raiz e insetos neste volume de solo seja inferior à apresentada no volume A.

A estrutura apresentada com base na descrição do perfil cultural do solo foi a NAM, μ , F, volume de solo fissurado, em que a individualização de torrões é facilitada pela fissuração, sendo este de tamanhos variados. As raízes presente neste volume se desenvolvem preferencialmente entre os torrões. Nas fissuras existentes foi possível identificar a estrutura do tipo NAM, volume de solo visivelmente não alterado pelo manejo agrícola.

A estrutura interna dos torrões do tipo μ , agregados não compactados, apresentando uma distribuição de agregados com estruturas internas e externas porosas, fáceis de serem observadas a olho nu, com predominância de poros do tipo amontoado de agregados.

A presença de raízes intra e entre agregados foi menor, entretanto bem ramificadas, não achatadas, com orientação predominantemente vertical, não prejudicada pelo adensamento do solo que se apresentou visivelmente maior que no volume de solo A. Embora não tenha sido detectada a presença de compactação devido ao solo estar sob a cobertura vegetal e não receber interferência antrópica.

Ao analisar em laboratório as condições físicas dos volumes de solo sob cobertura florestal, o volume de solo descrito como A, por estar mais próximo da superfície e em uma área de reserva vegetal, apresentou condições físicas superiores ao volume de solo B (**Quadro 7**).

Quadro 7 - Caracterização física do LATOSSOLO VERMELHO eutroférico típico textura argilosa. (Formação Serra Geral) sob a cobertura vegetal.

LATOSSOLO VERMELHO eutroférico típico textura argilosa. (Formação Serra Geral) sob a cobertura florestal									
Característica da trincheira		Caracterização física					Composição granulométrica		
Volume de solo	Profundidade (m)	Condutividade Hidráulica (mm/h)	Densidade do Solo (g/cm ³)	Porosidade Total (%)	Macroporosidade (%)	Microporosidade (%)	Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)
A	0,0 - 0,3	837,27	0,95	62,11	23,11	39,01	29,44	52,82	17,73
B	0,3 - 0,8	118,35	1,15	50,05	12,39	37,67	22,26	64,22	13,51
Média total		477,81	1,05	56,08	17,75	38,34	25,85	58,52	15,62

Quadro 8 - Caracterização química do LATOSSOLO VERMELHO eutroférico típico textura argilosa. (Formação Serra Geral) sob a cobertura vegetal.

Composição química (macronutrientes) Latossolo textura média (Formação Caiuá) sob a cobertura florestal											
Característica da trincheira		Acidez extraível		Bases trocáveis			Soma das Bases (S)	Fósforo assimilável P mg/dm ⁻³ .	pH		Carbono orgânico g/dm ⁻³ .
Volume de solo	Profundidade (m)	H ⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺			H ₂ O	CaCl ₂	
-----cmol/dm ⁻³ -----											
A	0,0 - 0,2	3,39	0,0	7,22	2,76	1,61	11,59	3,55	7,20	6,90	18,70
B	0,2 - 0,8	2,01	0,0	5,00	2,13	0,58	7,71	0,38	6,77	6,51	9,74

A densidade global do solo no volume A foi de $0,95 \text{ g/cm}^3$, mantendo-se abaixo dos valores considerados como críticos por Reichert et. al. (2003) que, para solos argilosos, reside entre $1,4$ a $1,6 \text{ g/cm}^3$ (**figura 20**).

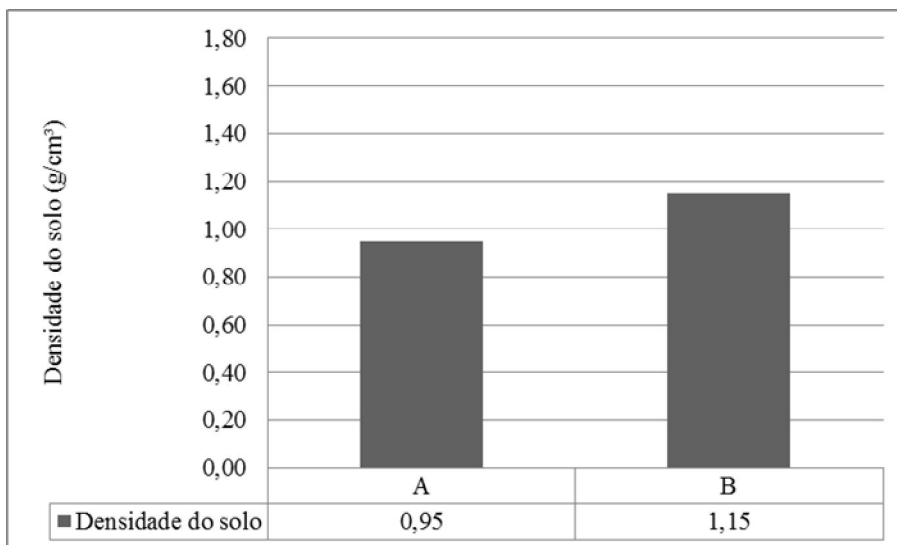


Figura 20 - Variações da densidade do solo no Latossolo da Formação Serra Geral sob a vegetação.

A porosidade total do solo foi de $62,11\%$, sendo dividida em macroporosidade $23,11\%$, e microporosidade $39,01\%$. A divisão da porosidade de solo apresentou-se concordante com o que Kiehl (1979) considera como sendo a porosidade ideal do solo de $1/3$ para macroporos e $2/3$ para microporos (**figura 21**).

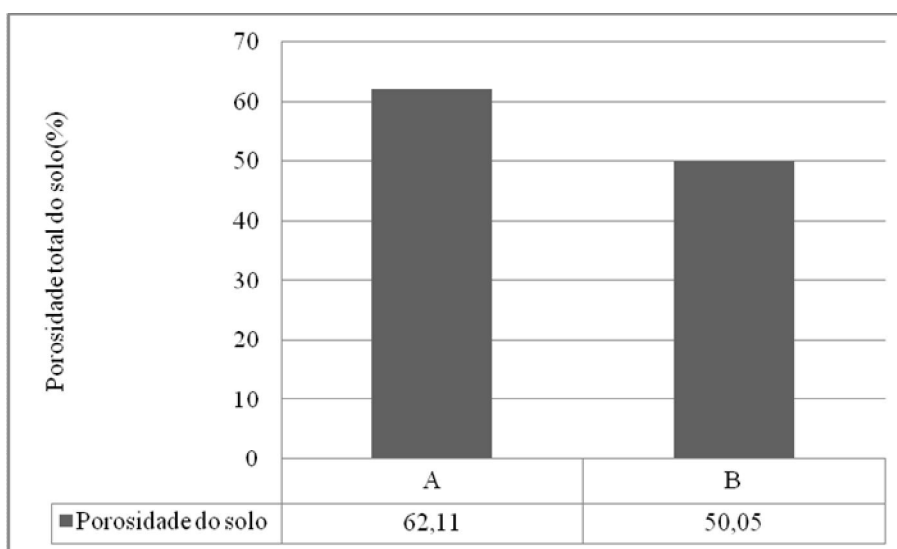


Figura 21 - Variações da porosidade do solo no Latossolo da Formação Serra Geral sob a vegetação.

Além disso, a porosidade total do solo ficou acima do considerado como ideal por Kiehl (1979), sendo composto por metade do volume ocupado por minerais e a outra metade do volume composta por poros. Os elevados valores de porosidade refletiram sobre a capacidade de condutividade hidráulica que apresentou elevados índices perfazendo 837,27 mm/h (**figura 22**).

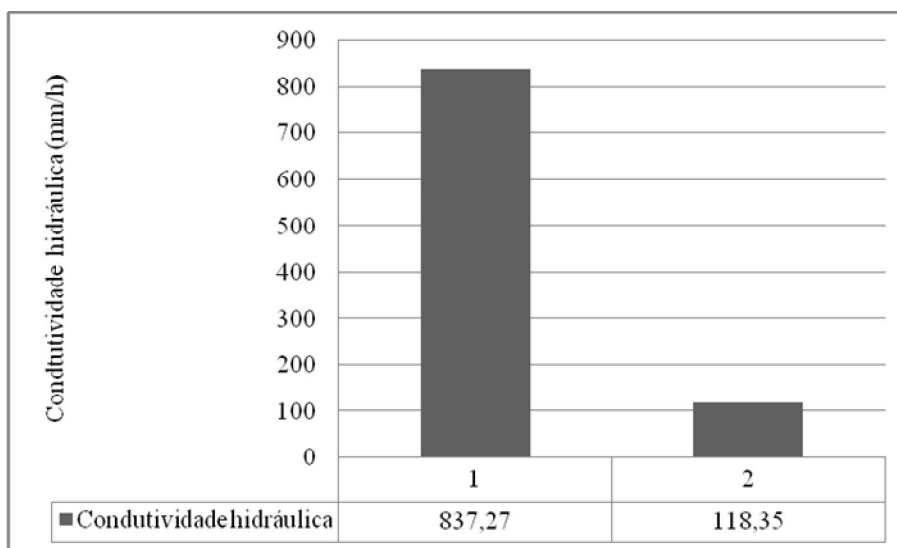


Figura 22 - Variações da condutividade hidráulica do solo no Latossolo da Formação Serra Geral sob a vegetação.

No volume de solo descrito como B, constatou-se maior índice de densidade global de solo perfazendo 1,15 g/cm³, também abaixo dos valores considerado como críticos por Reichert et. al. (2003) (**figura 20**).

Entretanto, esta densidade mais elevada do volume de solo B, comparada ao volume de solo A, acarretou menor porcentagem de porosidade total: 50,05%. Esta porosidade total está dividida em macroporos 12,39%, e microporos 37,67% (**figura 21**).

O valor de porosidade total do solo ficou dentro do considerado por Kiehl (1979) como o solo ideal, que é composto por metade do volume ocupado por minerais e a outra metade do volume composta por poros.

A condutividade hidráulica instalada neste volume de solo B, comparada a volume de solo A do mesmo perfil, foi reduzida em 85,86% atingindo o valor de 118,35 mm/h e criando assim, no limite entre os dois volumes de solo, uma zona de truncamento na circulação hídrica (**figura 22**).

As propriedades das partículas granulométricas destes volumes de solos apresentaram significativas variações em suas composições na passagem do volume de solo A para o volume de solo B.

O volume de solo A apresentou 17,73% de sua fração granulométrica composta por areia, 52,82% composta de argila e os 29,44% restantes por silte. Já o volume de solo B contou com 13,51% de sua fração granulométrica composta por areia, 64,22% composto por argila e os 22,26% restantes compostos por silte (**figura 23**).

Verifica-se assim um maior acúmulo de argila no volume de solo B atingindo 21,58% a mais que no volume de solo A. Já os teores de silte e areia foram maiores no volume A se comparado ao o B. O silte atingiu 32,17% a mais no volume A em comparação ao volume B, e o teor de areia atingiu 31,24% a mais no volume de solo A em relação ao B (**figura 23**).

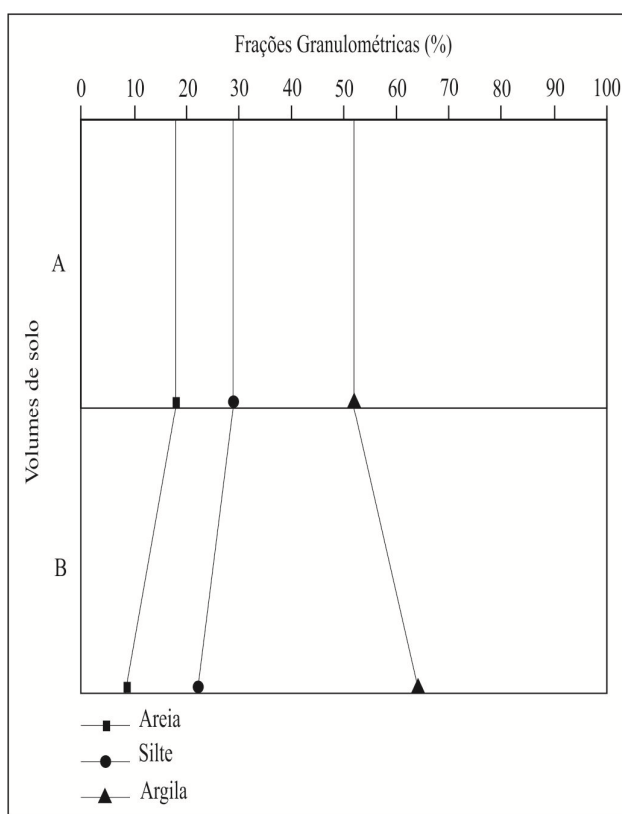


Figura 23 - Variações das composições granulométricas do solo no Latossolo da Formação Serra Geral sob a vegetação.

As partículas mais finas da composição granulométrica desses volumes de solos migram da superfície onde está o volume de solo A para a subsuperfície onde se encontra o volume de solo B, contribuindo para o maior valor de partículas grosseiras nas camadas superficiais do solo.

Devido à quantidade de água que percola estes volumes de solo, através da capacidade de condutividade hidráulica, ocorre à migração das partículas finas do solo das regiões superficiais onde a porosidade é elevada. Verifica-se assim que no volume de solo A, a ocorrência da perda de materiais finos coincide com o maior índice de condutividade hidráulica.

Verifica-se assim que no volume de solo A, onde a circulação de fluido é substancialmente maior, há uma menor concentração de partículas finas, precisamente 4,88% menor quando comparada ao volume de solo B.

A análise dos elementos químicos presentes nos volumes A e B do perfil de solo sob a cobertura vegetal apontaram para uma maior concentração no volume de solo A, consequência da presença de maior quantidade de matéria orgânica em decomposição que contribui para a reciclagem de minerais no solo.

No volume de solo A, a concentração do $H^+ + Al^3$ foi de 2,03, a de Al^3 foi 0,35, a de Ca^{2+} foi 1,16, a de Mg^{2+} foi 1,03, a de K^+ foi 0,06 todas em $cmolc/dm^{-3}$. O P foi de $1,40 Mg/dm^{-3}$, o C foi de $8,57 g/dm^{-3}$ (**Quadro 7**).

No volume de solo B a concentração do $H^+ + Al^3$ foi de 2,13, a de Al^3 foi 0,85, a de Ca^{2+} foi 0,94, a de Mg^{2+} foi 0,48, a de K^+ foi 0,29, todas em $cmolc/dm^{-3}$. O P foi de $1,49 Mg/dm^{-3}$, o C foi de $4,67 g/dm^{-3}$ (**Quadro 7**).

O pH foi superior no volume de solo A, atingindo para H_2O 6,20 e para $CaCl_2$ 5,35, enquanto no volume de solo B esses valores não ultrapassaram 5,98 para H_2O e 5,02 para $CaCl_2$.

O perfil de solo sob a cobertura vegetal não recebe adição de elementos químicos, portanto esses teores encontrados se devem a reposição natural do solo pela decomposição do material orgânico depositado pela vegetação que o recobre, tratando-se, desta forma, da fertilidade natural desta classe de solo.

O solo sob a cultura da cana-de-açúcar em área implantada por 30 anos aproximadamente, contou com o volume de solo descrito como A, com a presença intensa dos efeitos das ações antrópicas. Este volume de solo pode ser dividido em seis volumes descritos como Ap-1, Ap-2, Ap-3, Ap-4 Ap-5 e Ap-6, de acordo com o grau de compactação observado no campo no momento da descrição morfológica e da descrição do perfil cultural do solo (**Figura 24**).

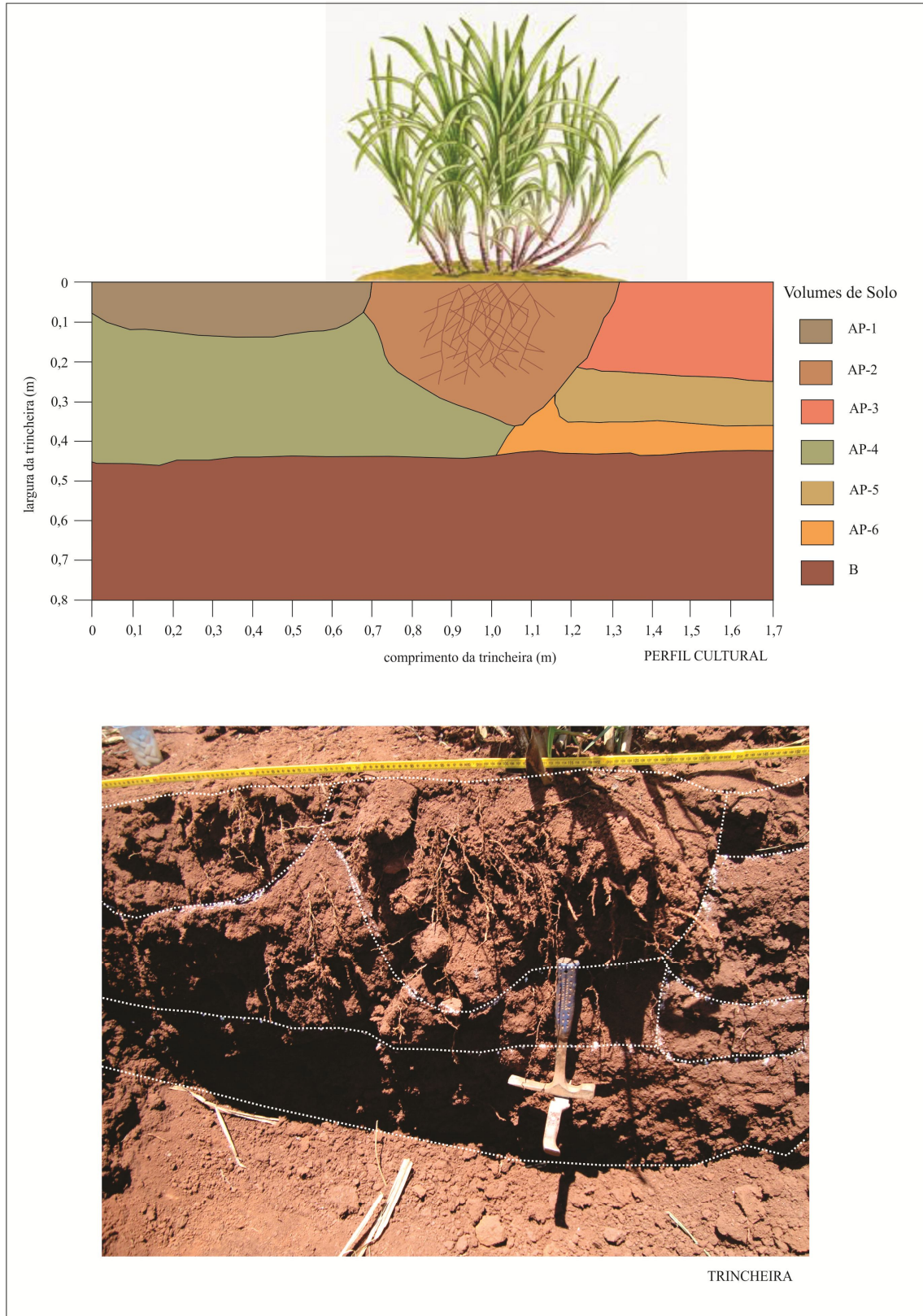


Figura 24 - Perfil cultural do solo sob Latossolo vermelho eutroférico textura argilosa da Formação Serra Geral sob o cultivo de cana-de-açúcar.

Assim como no perfil de Latossolo da Formação Caiuá, esta grande quantidade de volume de solo individualizado dentro de um mesmo perfil se deve principalmente ao peso excessivo das máquinas agrícolas e ao intenso fluxo de trânsito das mesmas dentro da área de cultivo da cana-de-açúcar, uma vez que essa cultura apresenta um elevado nível de mecanização de suas operações de manejo.

O volume de solo Ap-1 se estendeu do início da trincheira até aproximadamente 0,7 m de comprimento no sentido horizontal, com profundidade de 0,1 m, a cor apresentada neste volume foi 2,5YR-2,5/4 (marrom avermelhado escuro), com textura argilosa. A porosidade visível a olho nu foi do tipo grande, abundante, tubular e fissural.

A porosidade no volume Ap-1, além de fissural, se desenvolve a partir da presença de raiz da cana-de-açúcar, e também da pequena presença de insetos, sobretudo as formigas que escavam pequenos canais por onde a água percola no solo.

A estrutura apresentada com base na descrição do perfil cultural do solo foi a AM, F, $\mu\Delta$, volume de solo visivelmente alterado pelo manejo agrícola. O modo de organização do tipo F onde o volume de solo apresenta pequenas fissuras, em que a individualização de torrões é facilitada pelas mesmas, sendo este de tamanhos variados.

A estrutura interna dos torrões do tipo $\mu\Delta$, agregados, que estão em processo de compactação, mas que ainda guardam predominantemente características do estado não compacto μ sobre as características do estado compacto Δ .

Além disso, apresentou raízes intra e entre agregados, bem ramificadas, não achatadas, com orientação predominantemente vertical, embora tenha sido detectada a presença de adensamento e compactação.

Continuando a descrição no sentido horizontal dentro da trincheira, encontra-se o volume de solo Ap-2 que se estende de 0,7 m a 1,3 m com profundidade de aproximadamente 0,35m.

O volume Ap-2 apresentou cor 2,5YR-3/4 (marrom avermelhado escuro), com textura argilosa. A porosidade visível a olho nu foi do tipo grande, abundante, tubular e fissural. Apesar da porosidade no volume Ap-2 ser predominantemente do tipo fissural, conta também com a presença de muitas raízes, insetos, sobretudo as formigas que escavam pequenos canais por onde a água percola no solo.

A estrutura apresentada com base na descrição do perfil cultural do solo foi a AM, volume de solo visivelmente alterado pelo manejo agrícola. O modo de organização do tipo F onde o volume de solo apresenta pequenas fissuras, em que a individualização de torrões é facilitada pelas mesmas, sendo estes de tamanhos variados.

A estrutura interna dos torrões do tipo μ , estado interno dos torrões compactados, caracterizados por uma distribuição de agregados com estrutura angulosa devido à forte pressão externa.

Continuando a descrição no sentido horizontal, dentro da trincheira encontra-se o volume de solo Ap-3, que se estende de 1,3 m a 1,7 m com profundidade de aproximadamente 0,20 m.

O volume Ap-3 apresentou cor 2,5YR-3/4 (marrom avermelhado escuro), com textura argilosa, a porosidade visível a olho nu foi do tipo grande, abundante, tubular e fissural. Apesar da porosidade no volume Ap-3 ser predominantemente do tipo fissural, observou-se também a presença de raízes e insetos, sobretudo as formigas, que escavam pequenos canais por onde a água percola no solo.

A estrutura apresentada com base na descrição do perfil cultural do solo foi a AM, volume de solo visivelmente alterado pelo manejo agrícola. O modo de organização do tipo F, onde o volume de solo apresenta pequenas fissuras em que a individualização de torrões é facilitada pelas mesmas, sendo estes de tamanhos variados.

A estrutura interna dos torrões do tipo $\Delta\mu$ agregados que estão bem compactos, mas que ainda guardam algumas características do estado compacto μ , estado interno dos torrões compactados, caracterizados por uma distribuição de agregados com estrutura angulosa devido à forte pressão externa.

Abaixo do volume de solo Ap-1 e Ap-2 encontra-se o volume de solo Ap-4, que se estende do início da trincheira até 1,0 m, com profundidade variando entre 0,10 m e 0,45 m aproximadamente nos primeiros 0,70 m de comprimento. A partir daí até os 1,0 m de comprimento a profundidade oscila entre 0,30 m e 0,45 m aproximadamente (**Figura**).

O volume Ap-4 apresentou cor 2,5YR-3/6 (vermelho escuro), com textura argilosa, a porosidade visível a olho nu foi do tipo grande, abundante, tubular e fissural. Essa porosidade, embora predominantemente do tipo fissural, conta também com a presença de raízes e insetos, sobretudo as formigas, que escavam pequenos canais por onde a água percola no solo.

A estrutura apresentada com base na descrição do perfil cultural do solo foi a AM, volume de solo visivelmente alterado pelo manejo agrícola. O modo de organização do tipo F, onde o volume de solo apresenta pequenas fissuras em que a individualização de torrões é facilitada pelas mesmas, sendo estes de tamanhos variados.

A estrutura interna dos torrões do tipo μ , caracterizados por uma distribuição de agregados com estruturas internas e externas porosas, fáceis de serem observadas a olho nu, com predominância de poros do tipo amontoado de agregados.

A presença de adensamento e compactação visível a olho nu foi maior em relação aos volumes Ap de superfície, e também está relacionada ao rodado das máquinas agrícolas para o manejo da cana-de-açúcar, principalmente no momento da colheita e transporte.

Abaixo do volume de solo Ap-3 encontra-se o volume de solo Ap-5, que se estende de 1,15 m até o fim da trincheira 1,7 m, com profundidade variando entre 0,20 m e 0,40 m.

O volume de solo Ap-5 apresentou cor 2,5YR-3/6 (vermelho escuro), com textura argilosa. A porosidade visível a olho nu foi do tipo grande, abundante, tubular e fissural. Essa porosidade, embora predominantemente do tipo fissural, conta também com a presença de raízes e insetos, sobretudo as formigas, que escavam pequenos canais por onde a água percola no solo.

A estrutura apresentada com base na descrição do perfil cultural do solo foi a AM, volume de solo visivelmente alterado pelo manejo agrícola. O modo de organização do tipo F, onde o volume de solo apresenta pequenas fissuras em que a individualização de torrões é facilitada pelas mesmas, sendo estes de tamanhos variados.

A estrutura interna dos torrões do tipo μ , caracterizados por uma distribuição de agregados com estruturas internas e externas porosas, fáceis de serem observadas a olho nu, com predominância de poros do tipo amontoado de agregados.

Nota-se, portanto, que os volumes de solos sub superficiais Ap-4 e Ap-5 apresentaram no momento da descrição de campo características físicas semelhantes no que se refere a cor, porosidade e estrutura do perfil cultural do solo.

Ambos os volumes Ap-4 e Ap-5 apresentam características semelhante por se encontrarem nas mesmas posições na trincheira, o que proporciona o recebimento das mesmas influências antrópicas do manejo agrícola.

Abaixo do volume de solo Ap-5 encontra-se o volume de solo Ap-6, que se estende de 1,0 m até o fim da trincheira 1,7 m, com profundidade variando entre 0,35 m e 0,45 m.

O volume de solo Ap-6 apresentou cor 2,5YR-3/4 (marrom avermelhado escuro), com textura argilosa. A porosidade visível a olho nu foi do tipo grande, abundante, tubular e fissural. Essa porosidade, embora predominantemente do tipo fissural, conta também com a presença de raízes e insetos, sobretudo as formigas, que escavam pequenos canais por onde a água percola no solo.

A estrutura apresentada com base na descrição do perfil cultural do solo foi a AM, volume de solo visivelmente alterado pelo manejo agrícola. O modo de organização do tipo F, onde o volume de solo apresenta pequenas fissuras em que a individualização de torrões é facilitada pelas mesmas, sendo este de tamanhos variados.

A estrutura interna dos torrões do tipo Δ , estado interno dos torrões compactados, caracterizados por uma distribuição de agregados com estrutura angulosa devido à forte pressão externa.

O volume de solo B se estende de 0,45 m até 0,80 m, que é o limite em profundidade da trincheira, ocupando toda a sua extensão no sentido horizontal. O volume de solo B apresentou cor 2,5YR-4/8 (vermelho), textura argilosa. A porosidade visível a olho nu foi do tipo fraca, com pequena rede de poros e fissural. A presença de atividade biológica foi inexpressiva neste volume de solo.

A estrutura apresentada com base na descrição do perfil cultural do solo foi a AM, $\Delta\mu$, C, volume de solo visivelmente alterado pelo manejo e em que os elementos estão unidos formando um volume bastante homogêneo, com aspecto de estrutura maciça, sendo possível a individualização de torrões a olho nu. A estrutura interna dos torrões do tipo $\Delta\mu$, agregados que estão bem compactos, mas que ainda guardam algumas características do estado compacto μ .

Ao analisar em laboratório as condições físicas e químicas dos volumes de solos Ap sob a cultura de cana-de-açúcar, constatou-se significativas variações das principais características, principalmente com relação a densidade global, porosidade total do solo e a condutividade hidráulica (**Quadro 9**).

Quadro 9 - Caracterização física do LATOSSOLO VERMELHO eutroférico típico textura argilosa (Formação Serra Geral) sob o cultivo de cana-de-açúcar.

LATOSSOLO VERMELHO eutroférico típico textura argilosa. (Formação Serra Geral) sob o cultivo de cana-de-açúcar									
Característica da trincheira		Caracterização física					Composição Granulométrica		
Volume de solo	Profundidade (m)	Condutividade Hidráulica (mm/h)	Densidade do Solo (g/cm ³)	Porosidade Total (%)	Macroporosidade (%)	Microporosidade (%)	Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)
Ap-1	0,0 - 0,1	149,50	1,14	56,93	31,64	25,29	23,83	60,03	16,15
Ap-2	0,0 - 0,3	37,05	1,27	52,14	26,71	25,42	22,15	62,93	14,93
Ap-3	0,0 - 0,2	0,76	1,52	43,02	18,49	24,53	27,27	58,88	13,86
Ap-4	0,1 - 0,4	4,98	1,39	47,89	26,65	25,23	20,59	67,13	12,29
Ap-5	0,2 - 0,3	1,22	1,41	46,96	21,68	25,27	19,81	68,88	11,32
Ap-6	0,3 - 0,4	0,60	1,45	45,52	20,31	25,21	25,85	59,38	14,78
B	0,4 - 0,8	9,85	1,71	36,69	13,39	23,29	16,38	74,08	9,55
Média total		29,13	1,41	47,02	22,69	24,97	22,26	64,47	13,26

Quadro 10 - Caracterização química do LATOSSOLO VERMELHO eutroférico típico textura argilosa (Formação Serra Geral) sob o cultivo de cana-de-açúcar.

Composição química (macronutrientes) Latossolo textura média (Formação Serra Geral) sob o cultivo de cana-de-açúcar											
Característica da trincheira		Acidez extraível		Bases trocáveis			Soma das Bases (S)	Fósforo assimilável P	pH		Carbono orgânico C
Volume de solo	Profundidade (m)	H ⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺			mg/dm ⁻³	H ₂ O	
-----cmol _c /dm ⁻³ -----								mg/dm ⁻³			g/dm ⁻³
Ap-1	0,0 - 0,1	1,53	0,55	4,38	2,38	0,39	7,15	1,80	6,09	5,29	14,80
Ap-2	0,0 - 0,3	3,10	0,30	3,30	2,77	0,41	6,48	0,70	6,29	5,42	7,01
Ap-3	0,0 - 0,2	2,44	0,00	5,71	3,22	0,08	9,01	1,10	6,51	6,15	11,68
Ap-4	0,1 - 0,4	2,36	0,15	3,95	1,93	0,05	5,93	0,22	6,23	5,42	8,96
Ap-5	0,2 - 0,3	1,95	0,00	4,43	2,64	0,02	7,09	0,38	6,45	5,60	8,96
Ap-6	0,3 - 0,4	2,57	0,00	5,99	3,46	0,80	10,25	1,49	6,31	5,53	14,41
B	0,4 - 0,8	2,19	0,00	5,02	2,71	0,10	7,83	0,31	6,47	5,62	6,62

A densidade global do solo encontrada no volume Ap-1 foi de 1,14 g/cm³, mantendo-se abaixo dos valores considerados como críticos por Reichert et. al. (2003) para solos argilosos, que reside entre 1,4 e 1,6 g/cm³ (**figura 25**).

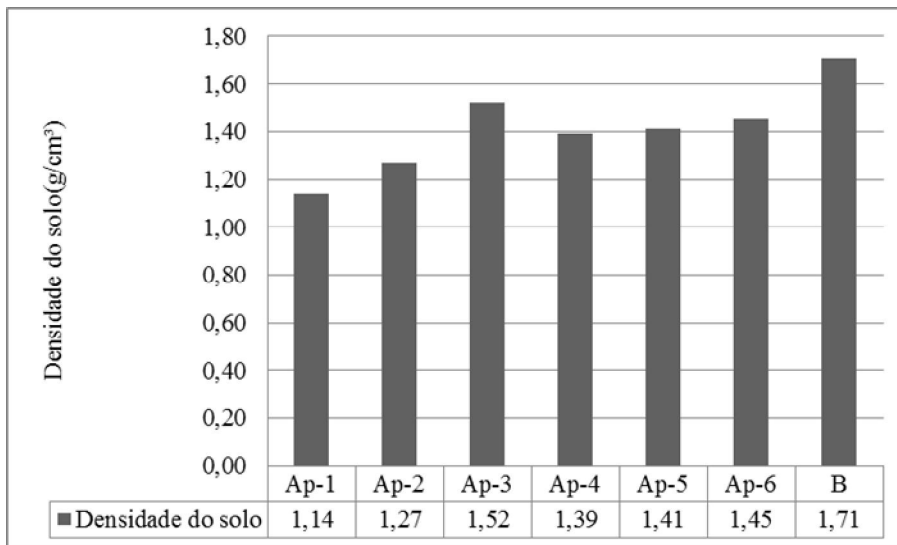


Figura 25 - Variações da densidade do solo no Latossolo da Formação Serra Geral sob o cultivo de cana-de-açúcar.

A porosidade total do solo no volume Ap-1 foi de 56,93%, sendo dividida em macroporosidade 31,64%, e microporosidade 25,29% do total. A divisão da porosidade de solo apresentou discrepância como o que Kiehl (1979) considera como sendo a porosidade ideal do solo de 1/3 para macroporos e 2/3 para microporos (**figura 26**).

Embora os valores de macroporosidade e microporosidade sejam discrepantes com o considerado ideal por Kiehl (1979), a porcentagem da porosidade total ficou acima dos 50% do total do solo ocupado por espaços porosos atingindo 56,93%.

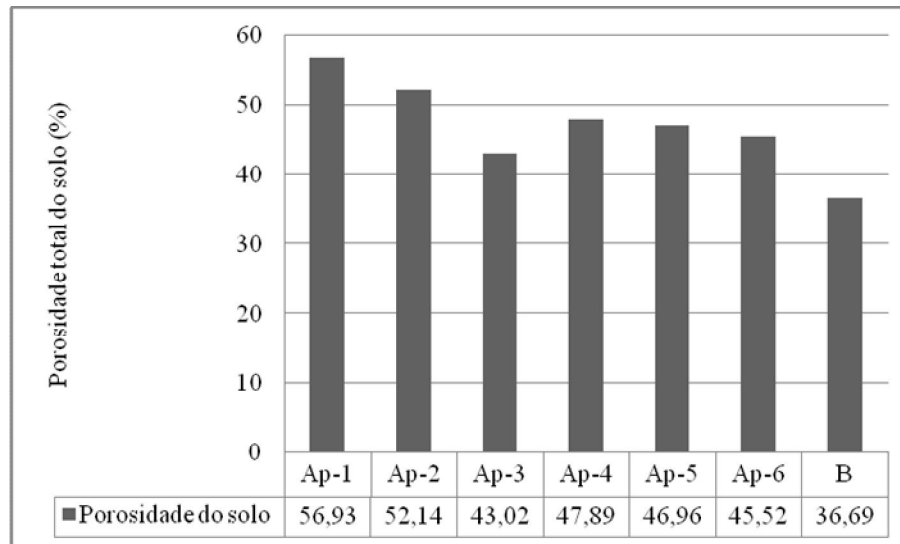


Figura 26 - Variações da porosidade do solo no Latossolo da Formação Serra Geral sob o cultivo de cana-de-açúcar.

Os baixos valores de densidade global do solo, associados à elevada rede de porosidade do solo, contribuíram diretamente com a capacidade de condutividade hidráulica, fazendo com que o valor apresentado para o volume de solo Ap-1 fosse o mais elevado deste perfil, atingindo 149,50 mm/h (**figura 27**).

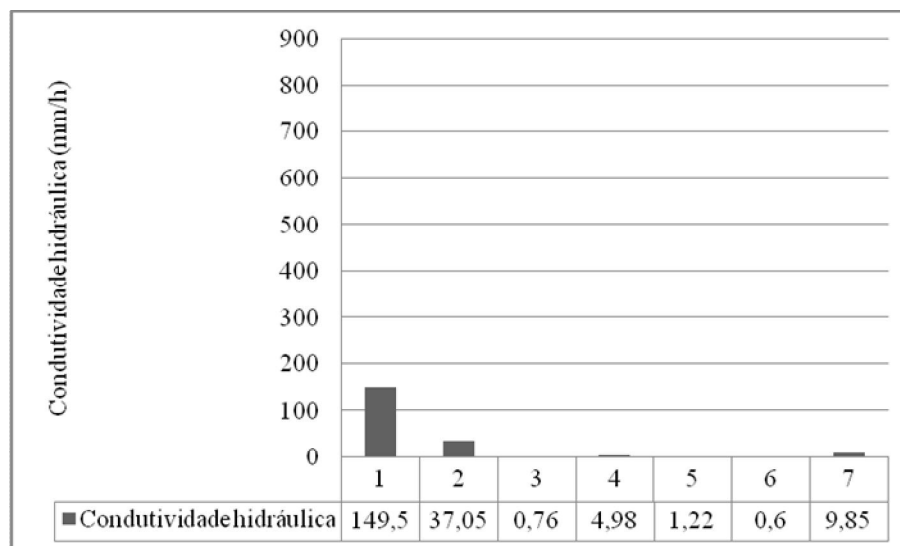


Figura 27 - Variação da condutividade hidráulica do solo no Latossolo da Formação Serra Geral sob o cultivo de cana-de-açúcar.

A composição granulométrica do volume de solo Ap-1 contou com 16,15% do total composto por areia, 60,03% composto de argila e os 23,83% restantes por silte (**figura 28**).

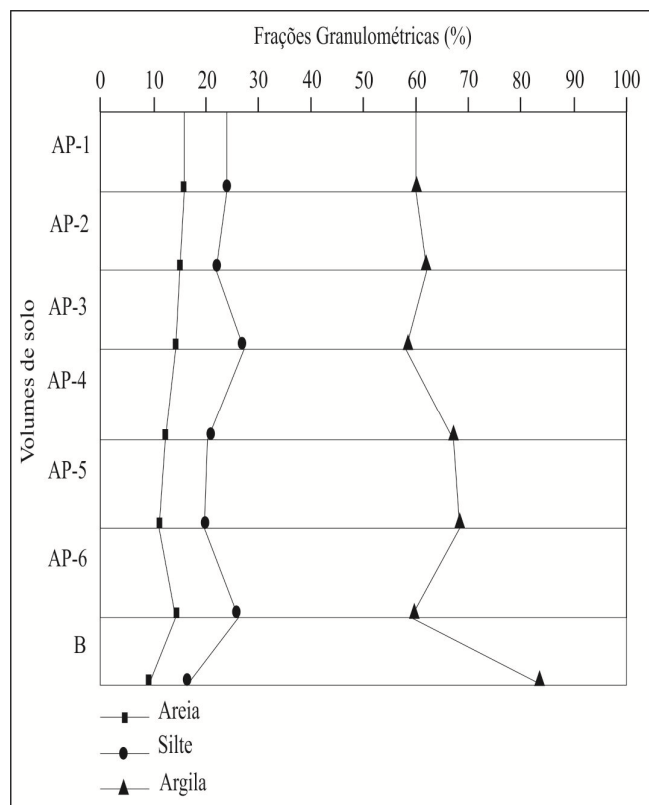


Figura 28 - Variações das frações granulométricas do solo no Latossolo da Formação Serra Geral sob o cultivo de cana-de-açúcar.

A composição dos elementos químicos no volume de solo Ap-1 foi de $1,98 \text{ cmolc/dm}^{-3}$ para $\text{H}^+ + \text{Al}^3$, $2,13 \text{ cmolc/dm}^{-3}$ para Ca^{2+} , $1,45 \text{ cmolc/dm}^{-3}$ para Mg^{2+} , $0,27 \text{ cmolc/dm}^{-3}$ para K^+ , $1,89 \text{ mg/dm}^{-3}$ para P e $8,57 \text{ g/dm}^{-3}$ para C. O pH deste volume de solo foi de 6,01 para a H_2O e 5,63 para CaCl_2 (**Quadro 10**).

No volume de solo Ap-2 a densidade global encontrada foi de $1,27 \text{ g/cm}^3$. A porosidade total deste volume de solo foi de 52,14%, sendo dividida em macroporosidade 26,71%, e microporosidade 25,42% do total, contribuindo para que a capacidade de condutividade hidráulica atinja $37,05 \text{ mm/h}$ (**figuras 25, 26 e 27**).

A porosidade total de 52,14% encontrada no volume de solo Ap-2 ficou acima dos 50% considerados como ideais, entretanto, a distribuição entre os poros do solo apresentou discrepância dos valores ideais de 1/3 para macroporos e 2/3 para microporos, ficando dividido meta 51,23% para macroporos e 48,77% para microporos.

A composição granulométrica do volume de solo Ap-2 contou como 14,93% do total composto por areia, 62,93% composto de argila e os 22,15% restantes por silte.

A composição dos elementos químicos no volume de solo Ap-2 foi de 1,85 cmolc/dm⁻³ para H⁺+Al³, 2,69 cmolc/dm⁻³ para Ca²⁺, 1,18 cmolc/dm⁻³ para Mg²⁺, 0,18 cmolc/dm⁻³ para K⁺, 3,94 mg/dm⁻³ para P e 12,85 g/dm⁻³ para C. O pH deste volume de solo foi de 6,18 para a H₂O e 5,69 para CaCl₂ (**Quadro 10**).

No volume de solo Ap-3 a densidade global encontrada foi de 1,52 g/cm³, portanto, dentro dos limites considerados como críticos para solos argilosos. A porosidade total deste volume de solo foi de 43,02%, sendo dividida em macroporosidade 18,49%, e microporosidade 24,53% do total. A capacidade de condutividade hidráulica foi de 0,79 mm/h, prejudicada pelos elevados índices de densidade e baixa rede de poros (**figuras 25, 26 e 27**).

A composição granulométrica do volume de solo Ap-3 contou com 13,86% do total composto por areia, 58,88% composto de argila e os 27,27% restantes por silte.

A composição dos elementos químicos no volume de solo Ap-3 foi de 1,63 cmolc/dm⁻³ para H⁺+Al³, 4,63 cmolc/dm⁻³ para Ca²⁺, 1,36 cmolc/dm⁻³ para Mg²⁺, 0,16 cmolc/dm⁻³ para K⁺, 2,84 mg/dm⁻³ para P e 10,12 g/dm⁻³ para C. O pH deste volume de solo foi de 6,08 para a H₂O e 5,43 para CaCl₂ (**Quadro 10**).

Comparando os valores de densidade global dos volumes de solos junto à superfície, constatamos que os valores foram aumentando, passando de 1,14 g/cm³ no volume Ap-1 para 1,27 g/cm³ no volume Ap-2, crescendo 11,40%, e atingindo 1,52 g/cm³ no volume Ap-3, crescendo 19,69%.

A porosidade total do solo no volume Ap-1 atingiu o valor de 56,93%, o mais elevado do perfil, reduzindo 8,41% no volume de solo Ap-2, atingindo 52,14%, e no volume Ap-3 a redução foi de 17,49%, atingindo apenas 43,02% de porosidade total do volume do solo.

A condutividade hidráulica desses volumes de solo acompanhou a tendência de comportamento da porosidade. N

No volume de solo Ap-1 a condutividade atingiu 149,50 mm/h, sendo o maior valor encontrado neste perfil de solo. Reduziu 75,22%, atingindo apenas 37,05 mm/h no volume Ap-2. No volume Ap-3 a redução foi de 97,95%, atingindo 0,76 mm/h.

Comparando as composições granulométricas desses volumes de solos superficiais constatam-se variações em seus valores. O volume de partículas grosseiras representado pela areia diminui gradativamente passando de 16,15% no volume Ap-1 para 14,93% no Ap-2 e 13,86% no Ap-3, portanto reduzindo 7,55% do volume Ap-1 para o Ap-2 e 7,17% do Ap-2 para o Ap-3.

Já o volume de partículas finas do solo representados pela argila e pelo silte aumentou gradativamente passando de 83,68% no volume Ap-1 para 85,08% no volume Ap-2 e para 86,15% no volume Ap-3, aumentando portanto em 1,67% do volume Ap-1 para o Ap-2 e 1,26% para o Ap-3 (**Quadro 9**).

Nos volumes subsuperficiais as propriedades físicas do solo foram inferiores as apresentada nos volumes superficiais. A densidade global do solo encontrada no volume Ap-4 foi de 1,39 g/cm³. A porosidade total foi de 47,89%, sendo dividida em macroporosidade 22,65%, e microporosidade 25,23% do total. A divisão da porosidade de solo apresentou discrepância como o que Kiehl (1979) considera como sendo a porosidade ideal do solo de 1/3 para macroporos e 2/3 para microporos (**figuras 25, 26 e 27**).

Esses valores contribuíram diretamente com a capacidade de condutividade hidráulica fazendo com que o valor apresentado para o volume de solo Ap-4 seja de 4,98 mm/h, o mais elevado entre os volumes subsuperficiais Ap, diretamente influenciado pelo manejo agrícola.

Tanto os valores de macroporosidade e microporosidade quanto à porosidade total do solo foram discrepantes com o considerado ideal por Kiehl (1979). A porcentagem da porosidade total ficou abaixo dos 50% do total do solo ocupado por espaços porosos atingindo 47,89%.

A composição granulométrica do volume de solo Ap-4 contou como 12,29% do total composto por areia, 67,13% composta de argila e os 20,59% restantes por silte (**figura 28**).

A composição dos elementos químicos no volume de solo Ap-4 foi de 1,94 cmolc/dm⁻³ para H⁺+Al³, 3,56 cmolc/dm⁻³ para Ca²⁺, 1,84 cmolc/dm⁻³ para Mg²⁺, 0,04 cmolc/dm⁻³ para K⁺, 0,86 mg/dm⁻³ para P e 10,12 g/dm⁻³ para C. O pH deste volume de solo foi de 6,36 para a H₂O e 5,55 para CaCl₂ (**Quadro 10**).

No volume de solo Ap-5 a densidade global encontrada foi de 1,41 g/cm³. A porosidade total deste volume de solo foi de 46,96%, sendo dividida em macroporosidade 21,68%, e microporosidade 25,27% do total, contribuindo para que a capacidade de condutividade hidráulica atinja apenas 1,22 mm/h (**figuras 25, 26 e 27**).

A composição granulométrica do volume de solo Ap-5 contou como 11,32% do total composta por areia, 68,88% composta de argila e os 19,81% restantes por silte (**figura 28**).

A composição dos elementos químicos no volume de solo Ap-5 foi de 1,77 cmolc/dm⁻³ para H⁺+Al³, 4,65 cmolc/dm⁻³ para Ca²⁺, 1,33 cmolc/dm⁻³ para Mg²⁺, 0,04 cmolc/dm⁻³ para K⁺, 1,97 mg/dm⁻³ para P e 5,06 g/dm⁻³ para C. O pH deste volume de solo foi de 6,38 para a H₂O e 5,32 para CaCl₂ (**Quadro 10**).

No volume de solo Ap-6 a densidade global encontrada foi de 1,45 g/cm³. A porosidade total deste volume de solo foi de 45,52%, sendo dividida em macroporosidade 20,31%, e microporosidade 25,21% do total. A capacidade de condutividade hidráulica foi de 0,60 mm/h (**figuras 25, 26 e 27**).

A composição granulométrica do volume de solo Ap-6 contou como 14,78% do total composto por areia, 59,38% composta de argila e os 25,85% restantes por silte (**figura 28**).

A composição dos elementos químicos no volume de solo Ap-6 foi de 1,78 cmolc/dm⁻³ para H⁺+Al³, 5,62 cmolc/dm⁻³ para Ca²⁺, 1,51 cmolc/dm⁻³ para Mg²⁺, 0,05 cmolc/dm⁻³ para K⁺, 0,93 mg/dm⁻³ para P e 9,74 g/dm⁻³ para C. O pH deste volume de solo foi de 6,00 para a H₂O e 5,61 para CaCl₂ (**Quadro 10**).

Comparando-se os valores de densidade global dos volumes de solos em subsuperfície constatamos que, na medida em que os valores foram aumentando passando de 1,39 g/cm³ no volume Ap-4 para 1,41 g/cm³ no volume Ap-5, crescendo 1,44% e atingindo 1,45 g/cm³ no volume Ap-6, crescendo 2,84%, a porosidade total desses volumes de solo foram reduzindo.

A porosidade total do solo no volume Ap-4 atingiu o valor de 47,89%, reduzindo 1,94% na passagem para o volume de solo Ap-5, atingindo 46,96%, e no volume Ap-6 a redução foi de 3,07%, atingindo apenas 45,52% de porosidade total do volume do solo.

A condutividade hidráulica desses volumes de solo acompanhou a tendência de comportamento da porosidade. No volume de solo Ap-4 a condutividade atingiu 4,98 mm/h, sendo o maior valor encontrado neste perfil de solo. Eeduziu 75,50% atingindo apenas 1,22 mm/h no volume Ap-5, e no volume Ap-6 a redução foi de 50,82% atingindo 0,60 mm/h.

Comparando as composições granulométricas desses volumes de solos superficiais, constata-se variações em seus valores. O volume de partículas grosseiras representado pela areia diminui, passando de 12,29% no volume Ap-4 para 11,32% no Ap-5, e depois aumentou para 14,78% no Ap-6, reduzindo portanto, 7,89% do volume Ap-1 para o Ap-2 e aumentando 30,57% do Ap-2 para o Ap-3.

A densidade global do solo encontrada no volume B foi de 1,71 g/cm³, valor acima do considerado como crítico por Reichert et. al. (2003) para solos argilosos. A porosidade total do solo no volume B foi de 36,69%, sendo dividida em 13,39% de macroporosidade e 23,29% de microporosidade do total (**figuras 25 e 26**).

A porcentagem da porosidade total ficou bem abaixo dos 50% do total do solo ocupado por espaços porosos, atingindo apenas 36,69%, o que implica em uma redução de 26,62% no valor considerado ideal por Kiehl (1979).

O valor elevado apresentado para a densidade global do solo, associado à baixa porosidade deste, afeta diretamente a capacidade de condutividade hidráulica fazendo com que o valor apresentado para o volume de solo B seja de apenas 9,85 mm/h (**figuras 27**).

A composição granulométrica do volume de solo B contou como 9,55% do total composto por areia, 74,08% composto por argila e os 16,38% restantes por silte.

A composição dos elementos químicos no volume de solo B foi de 2,37 cmolc/dm⁻³ para H⁺+Al³, 3,11 cmolc/dm⁻³ para Ca²⁺, 0,37 cmolc/dm⁻³ para Mg²⁺, 0,04 cmolc/dm⁻³ para K⁺, 0,54 mg/dm⁻³ para P e 6,23 g/dm⁻³ para C. O pH deste volume de solo foi de 5,81 para a H₂O e 4,95 para CaCl₂ (**Quadro 10**).

A partir da comparação entre os valores obtidos em profundidade para as propriedades físicas e químicas do solo, é possível apontar três zonas distintas de influência do manejo agrícola, assim como foi feito no perfil da Formação Caiuá.

Dentro do perfil analisado constata-se grande heterogeneidade nas propriedades físicas, químicas e hídricas entre os volumes Ap-1, Ap-2 e Ap-3, mesmo estando em superfície e recebendo as mesmas influências do manejo agrícola. No que se refere à mecanização do solo, plantio da cana-de-açúcar, colheita e transporte, é exercido um peso extremo sobre as camadas do solo, proveniente do intenso fluxo de máquinas de grande porte nessas operações (**Quadro 9**).

Considerado como a primeira zona de influência, concentrada aproximadamente nos primeiros 0,10 m e 0,25 m de profundidade, compreendendo os volumes de solo Ap-1, Ap-2 e Ap-3, onde os índices de densidade do solo são os mais baixos de todo o perfil, com exceção do volume Ap-3 que apresentou densidade elevada.

A porosidade total atingiu valores elevados nestes volumes de solo, ficando acima dos 50% considerados ideais. Entretanto, no volume Ap-3, onde a densidade foi maior, a porosidade não atingiu os 50%.

A capacidade de condutividade hidráulica também foi afetada pela degradação das propriedades físicas do solo, sendo que, nos volumes Ap-1 e Ap-2 a condutividade foi elevada. No volume Ap-3, onde a porosidade ficou abaixo dos 50%, a condutividade hidráulica foi extremamente prejudicada.

Esta zona do perfil recebe influência do manejo agrícola, principalmente no que se refere à compactação, pois está em contato direto com o peso das máquinas e o elevado fluxo de trânsito.

Entretanto, esta zona conta com a vantagem de estar na superfície e ser revolvida pelo escarificador no momento da fertilização da plantação, conferindo-lhe assim, a descompactação mecânica do solo, o que possibilita o aumento da rede de poros e conseqüentemente a elevação da capacidade de condutividade hidráulica.

A segunda zona de influência compreende os volumes Ap-4, Ap-5 e Ap-6 em sub superfície, concentrada aproximadamente entre os 0,10 m e 0,25 m de profundidade, até os 0,45 m de profundidade, nos quais os índices de densidade do solo elevam-se, a porosidade total se reduz, assim como a condutividade hidráulica (**Quadro 9**).

Esta zona, por estar em subsuperfície, não conta com a vantagem de ser revolvida pelo escarificador no momento da fertilização da plantação. Por isso, apresenta características físicas inferiores à zona imediatamente acima. Entretanto, a cada 5 anos aproximadamente, no momento da reforma da cultura da cana durante a mecanização do solo para a implantação de um novo ciclo, esta zona passa por um processo de revolvimento, conferindo-lhe melhores condições físicas que a terceira zona logo abaixo.

A terceira zona de influência concentra-se abaixo dos 0,45 m de profundidade, compreendendo o volume de solo B, onde o índice de densidade do solo foi o mais elevado do perfil, o que contribuiu para que a porosidade também fosse a mais baixa de todo o perfil, e conseqüentemente, a condutividade hidráulica também foi pequena (**Quadro 9**).

Esta zona do perfil recebe influência do manejo agrícola principalmente no que se refere à compactação, e não se beneficia de nenhum tipo de revolvimento mecânico de seu volume. Sendo assim, é a camada mais compacta do perfil e a que conta com os piores índices de propriedade física.

Procedendo a comparação entre os perfis utilizados para o cultivo com o perfil sob a vegetação caracterizado pelo equilíbrio natural entre as propriedades do solo, é possível constatar os efeitos da compactação gerada pelo manejo agrícola.

O perfil sob vegetação caracterizado pelo estado natural das propriedades físicas do solo, apresentou em toda a extensão da trincheira apenas dois volumes de solo: o volume A e o volume B. Já o perfil de solo utilizado para cultura da cana-de-açúcar apresentou seis volumes de solo, sendo quatro volumes Ap e um volume B.

A disparidade é acentuada quando se comparam as características das propriedades físicas dos dois perfis sob a mesma classe de solo. A média de densidade de solo entre os seis volumes de solo Ap no perfil cultivado com a cana-de-açúcar foi de 1,36 g/cm³, portanto 43,16% mais denso do que o perfil sob vegetação, onde a densidade foi de apenas 0,95 g/cm³.

No volume de solo B do perfil cultivado com a cana-de-açúcar a densidade foi de 1,71 g/cm³, portanto 48,70% mais denso do que o perfil sob a vegetação, que foi de 1,15 g/cm³.

A porosidade total do solo é outra propriedade que expressa bem o nível de influência que o manejo agrícola exerce sobre os volumes de solo. A média do percentual de porosidade do solo entre os seis volumes Ap no perfil cultivado com a cana-de-açúcar foi de 48,74%, ficando 27,43% abaixo do volume A sob vegetação, que apresentou porosidade total de 62,11%.

A influência do manejo agrícola na porosidade total do solo é sentida também no volume B do perfil sob a cana-de-açúcar, o qual atingiu o valor de 36,69%, concentrando assim, 37,46% menos poros que o volume B sob a vegetação, que atingiu 50,02%.

A condutividade média nos seis volumes Ap no perfil cultivado com a cana-de-açúcar foi de 32,35 mm/h, ficando 96,14% abaixo da condutividade apresentada pelo volume A da mesma classe de solo, porém sob vegetação, que foi de 837,27 mm/h.

No volume de solo B no perfil cultivado com a cana-de-açúcar a condutividade hidráulica foi de 9,85 mm/h ficando 91,68% abaixo da condutividade apresentada pelo volume B da mesma classe de solo, porém sob a vegetação, que foi de 118,35 mm/h.

5.3 Efeito do manejo agrícola sobre as propriedades físicas do solo Latossolo formação Caiuá e Formação Serra Geral

Na comparação das características das propriedades físicas do Latossolos da Formação Caiuá com o Latossolo da Formação Serra Geral sob o manejo da cana-de-açúcar, verifica-se que estes apresentam comportamentos diversos no que se refere aos efeitos da compactação.

Para a compreensão dos efeitos do manejo agrícola da cana-de-açúcar sobre os diferentes Latossolos, deve-se considerar que em condições naturais, sob a vegetação, os solos arenosos e argilosos apresentaram disparidades referentes às suas propriedades físicas.

O Latossolo da Formação Caiuá recoberto pela vegetação contou com dois volumes de solo distintos. Em superfície apresentou o volume A com 89,68% de sua fração granulométrica composta por partículas grosseiras, e 10,32% composta por partículas finas. Em subsuperfície apresentou o volume de solo B com 88,38% de sua fração granulométrica composta por partículas grosseiras, e 11,62% composta por partículas finas (figura 29).

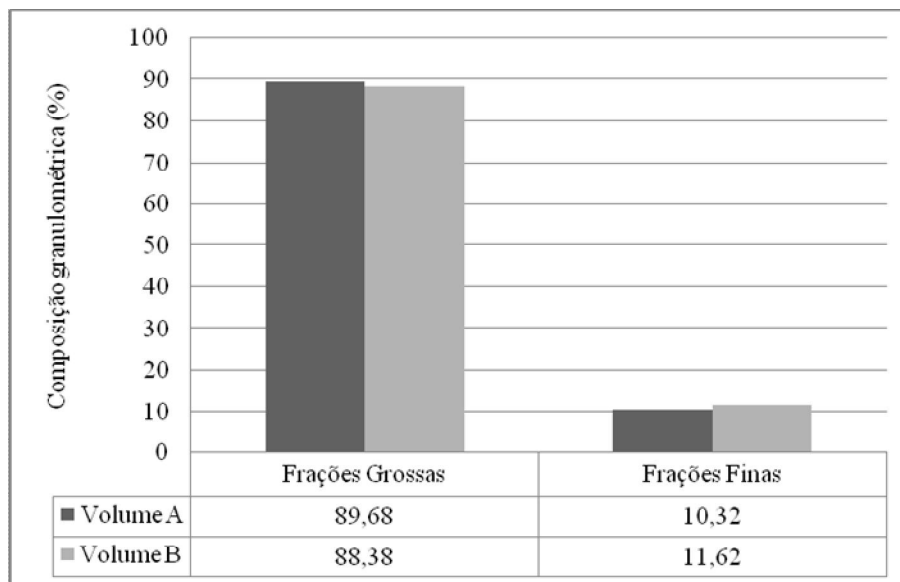


Figura 29 - Composição granulométrica do Latossolo textura média da Formação Caiuá sob a cobertura vegetal.

No Latossolo da Formação Caiuá, o volume de solo A contou com densidade de 1,29 g/cm³, porosidade total de 50,23% e condutividade hidráulica de 188,64 mm/h. O volume de solo B contou com densidade de 1,57 g/cm³, porosidade total de 33,72% e condutividade hidráulica de 39,14 mm/h.

O Latossolo da Formação Serra Geral recoberta pela vegetação contou com dois volumes de solo distintos. Em superfície apresentou o volume A com 17,73% de sua fração granulométrica composta por partículas grosseiras e 82,27% composta por partículas finas. Em subsuperfície apresentou o volume de solo B com 13,51% de sua fração granulométrica composta por partículas grosseiras e 86,49% composta por partículas finas (**figura 30**).

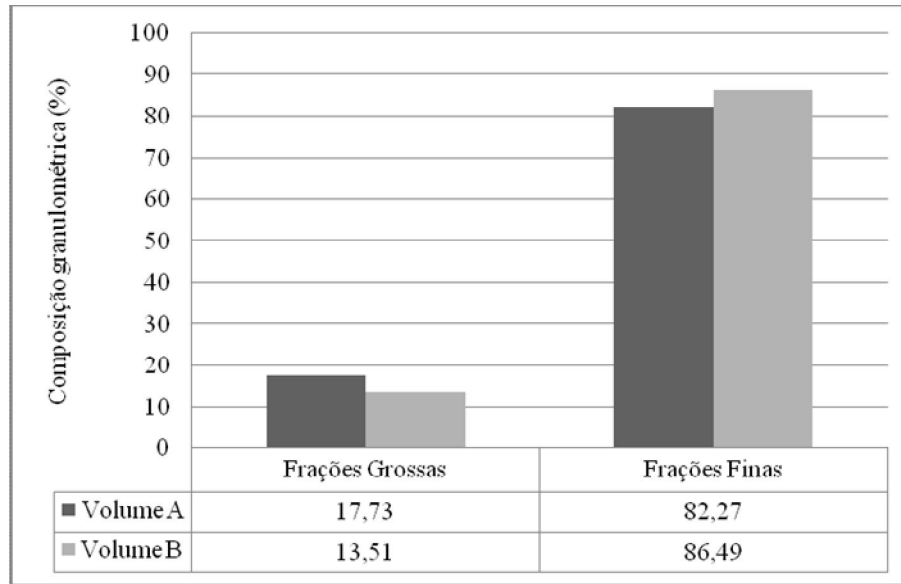


Figura 30 - Composição granulométrica Latossolo textura argilosa da formação Serra Geral sob a cobertura vegetal.

No Latossolo da Formação Serra Geral o volume de solo A contou com densidade de $0,95 \text{ g/cm}^3$, porosidade total de 62,11% e condutividade hidráulica de 837,27 mm/h. O volume de solo B contou com densidade de $1,15 \text{ g/cm}^3$, porosidade total de 50,05% e condutividade hidráulica de 118,35 mm/h.

Ambas as classes de Latossolos apresentaram densidade de solo dentro dos limites considerados como solo ideal por Reichert et. al.(2003). Para o autor os valores de densidade do solo considerados críticos residem entre $1,4$ a $1,8 \text{ g/cm}^3$, em função do teor de argila, sendo que para solos argilosos esse valor reside entre $1,4$ e $1,6 \text{ g/cm}^3$, e para solos francos e arenosos fica entre $1,6$ a $1,8 \text{ g/cm}^3$.

Entretanto, pode-se notar que no Latossolo argiloso os valores de densidade do solo foram 35,79% menores no volume A e 36,52% menores no volume B se comparados com os mesmos volumes do latossolo arenoso. Apresentando, desta forma, melhores condições (**figura 31**).

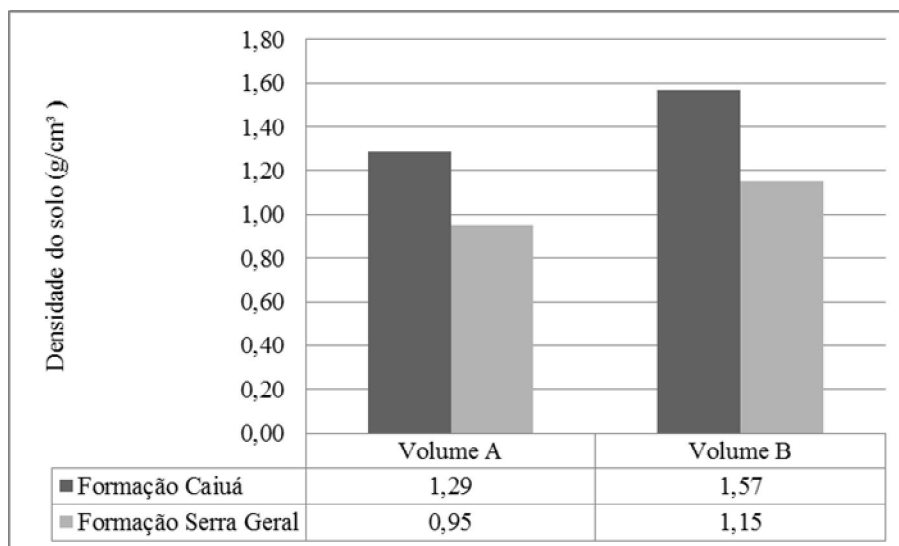


Figura 31 - Densidade do solo nos Latossolos da Formação Caiuá e Formação Serra Geral sob a cobertura vegetal.

A porosidade no Latossolo argiloso foi superior se comparada aos mesmos volumes de solo do Latossolo arenoso, sendo que a rede de poros foi 19,13% mais densa no volume de solo A e 32,63% mais densa no volume de solo B (**figura 32**).

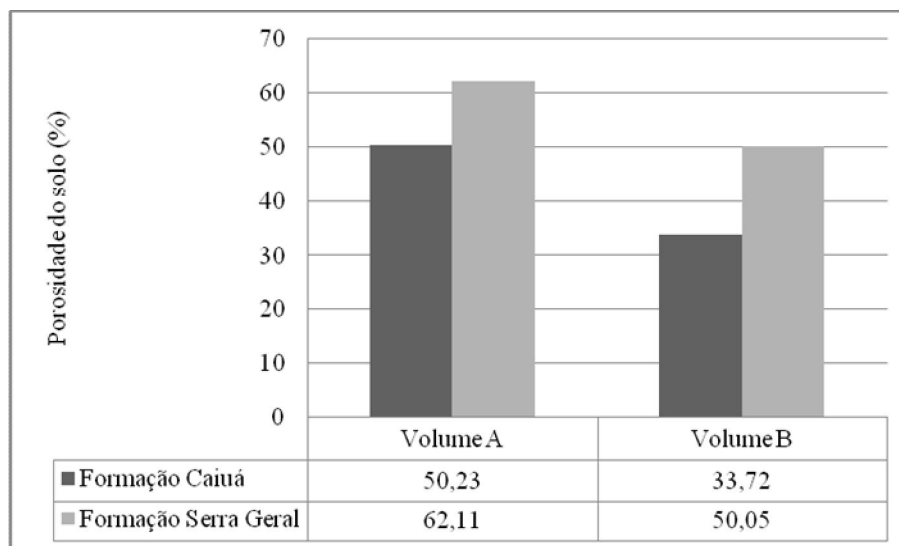


Figura 32 - Porosidade do solo nos Latossolos da Formação Caiuá e Formação Serra Geral sob a cobertura vegetal.

A condutividade hidráulica do solo apresentou significativas variações quando comparada as duas classes de solos. No Latossolo argiloso ela foi substancialmente superior ao Latossolo arenoso. No volume de solo A argiloso, a condutividade hidráulica foi 343,85%

superior ao arenoso, assim como no volume de solo B, onde esse valor foi 202,38% superior (figura 33).

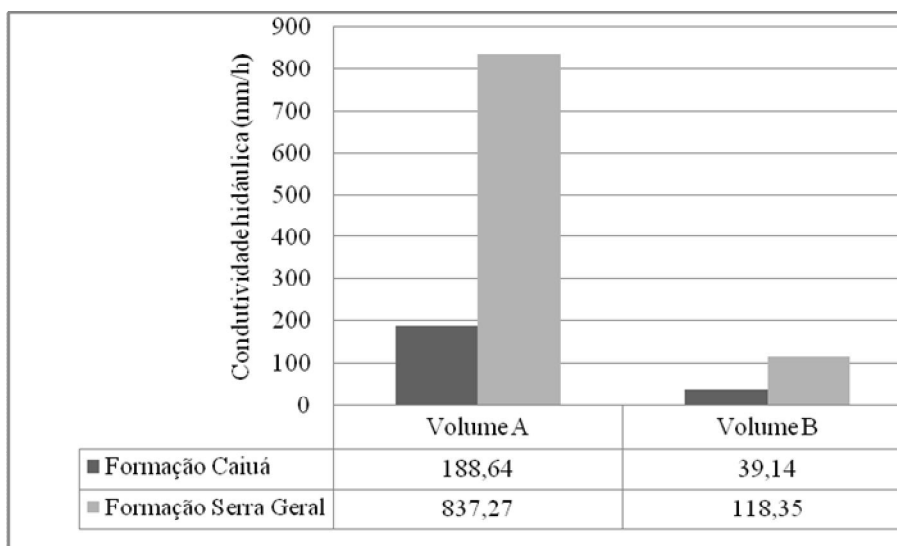


Figura 33 - Porosidade do solo nos Latossolos da Formação Caiuá e Formação Serra Geral sob a cobertura vegetal.

Por meio da comparação dos valores das propriedades físicas dessas classes de solos, averigua-se que o Latossolo argiloso apresenta condições superiores ao Latossolo arenoso, estando as duas classes sob a vegetação, e portanto, em condições naturais. As disparidades das propriedades físicas dos solos arenosos e argilosos acentuam-se quando estes são manejados com a cana-de-açúcar.

O Latossolo da Formação Caiuá sob o manejo da cana-de-açúcar contou com cinco volumes de solo distintos de acordo com os níveis de compactação apresentados no momento da descrição do perfil cultural. Em superfície, apresentou quatro volumes de solo caracterizados como Ap e um volume em subsuperfície caracterizado como B.

Esses volumes de solos apresentados no Latossolo da Formação Caiuá podem ser divididos em três zonas distintas com características físicas semelhantes, nas quais a influência do manejo agrícola também é semelhante devido as suas posições na trincheira.

A primeira zona de influência composta pelos volumes de solos Ap-1 e Ap-2, junto a superfície, com profundidade de 0,10 a 0,15 m, contou com 87,61% de sua fração granulométrica composta por partículas grosseiras e 12,38% composta por partículas finas (figura 34).

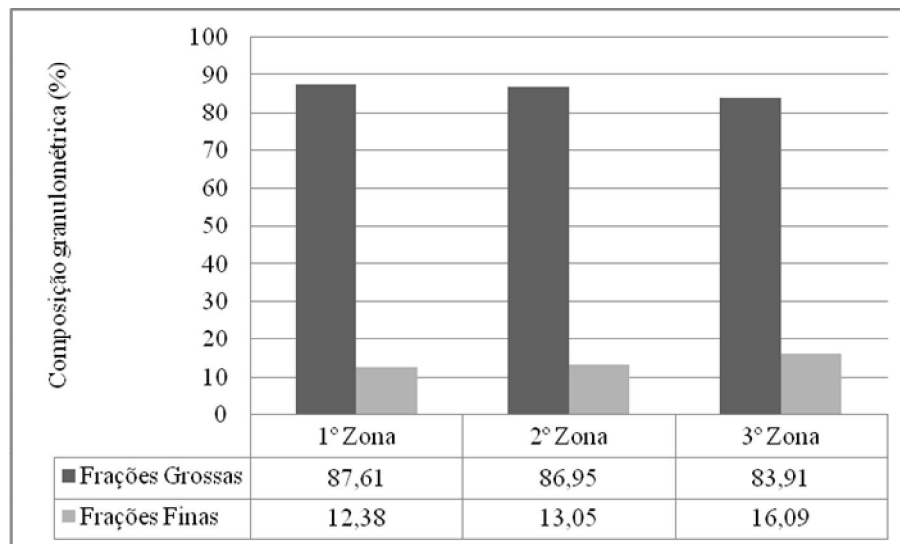


Figura 34 - Composição granulométrica do Latossolo textura média da Formação Caiuá sob o cultivo de cana-de-açúcar.

Nesta primeira zona de influência, a densidade média foi de 1,59 g/cm³, porosidade total de 35,27% e condutividade hidráulica de 14,90 mm/h.

Na segunda zona de influência composta pelos volumes de solos Ap-3 e Ap-4 em subsuperfície, a profundidade entre 0,10 e 0,15 m até 0,20 m contou com 86,95% de sua fração granulométrica composta por partículas grosseiras e 13,05% composta por partículas finas (**figura 34**). Nesta segunda zona de influência, a densidade média foi de 1,68 g/cm³, porosidade total de 31,79% e condutividade hidráulica de 3,57 mm/h.

A terceira zona de influência composta pelo volume de solo B em subsuperfície com profundidade acima de 0,20 m, contou com 83,91% de sua fração granulométrica composta por partículas grosseiras e 16,09% composta por partículas finas (**figura 34**). Nesta terceira zona de influência a densidade foi de 1,77 g/cm³, porosidade total de 28,93% e condutividade hidráulica de 1,33 mm/h.

O Latossolo da Formação Serra Geral sob o manejo da cana-de-açúcar contou com sete volumes de solo distintos de acordo com os níveis de compactação apresentados no momento da descrição do perfil cultural. Em superfície apresentou seis volumes de solo caracterizados como Ap e um volume em subsuperfície caracterizado como B.

Esses volumes de solos apresentados no Latossolo da Formação Serra Geral, assim como os da Formação Caiuá, foram divididos em três zonas distintas com características

físicas semelhantes, nas quais à influência do manejo agrícola também é semelhante devido as suas posições na trincheira.

A primeira zona de influência composta pelos volumes de solos Ap-1, Ap-2 e Ap-3 junto a superfície, estendendo-se entre 0,10 e 0,30 m de profundidade, apresentou fração granulométrica média composta por 14,98% de partículas grosseiras e 85,02% de partículas finas (**figura 35**). Nesta primeira zona de influência, a densidade média foi de 1,31 g/cm³, porosidade total de 50,69% e condutividade hidráulica de 62,43 mm/h.

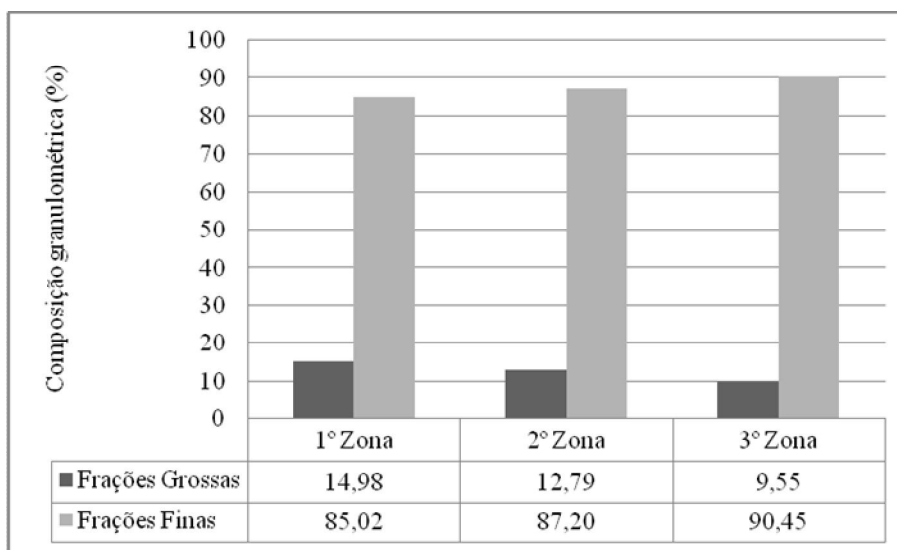


Figura 35 - Composição granulométrica Latossolo textura argilosa da Formação Serra Geral sob cultivo de cana-de-açúcar.

A segunda zona de influência composta pelos volumes de solos Ap-4, Ap-5 e Ap-6 em subsuperfície com profundidade entre 0,10 e 0,30 m até 0,45 m aproximadamente, apresentou fração granulométrica média composta por 12,79% de partículas grosseiras e 87,20% de partículas finas (**figura 35**). Nesta segunda zona de influência a densidade média foi de 1,41 g/cm³, porosidade total de 46,79% e condutividade hidráulica de 2,26 mm/h.

A terceira zona de influência composta pelo volume de solo B subsuperficial com profundidade acima de 0,45 m contou com 9,55% de sua fração granulométrica composta por partículas grosseiras e 90,45% composta por partículas finas (**figura 35**). Nesta terceira zona de influência a densidade foi de 1,71 g/cm³, porosidade total de 36,69% e condutividade hidráulica de 9,85 mm/h.

Confrontando os valores das propriedades físicas dos Latossolos da Formação Serra Geral assim como os da Formação Caiuá, deve-se levar em conta as zonas distintas pelos níveis de compactação para obter-se um panorama da influência antrópica do manejo agrícola.

Desta forma, pôde-se constatar que a densidade de solo na primeira zona de influência, tanto no solo arenoso como no solo argiloso, ficaram dentro dos limites considerados como solo ideal por Reichert et. al. (2003). Entretanto, nota-se que no Latossolo argiloso os valores de densidade do solo foram 21,37% menores do que na mesma zona do Latossolo arenoso, apresentado desta forma, melhores condições no que se refere à densidade do solo (**figura 36**).

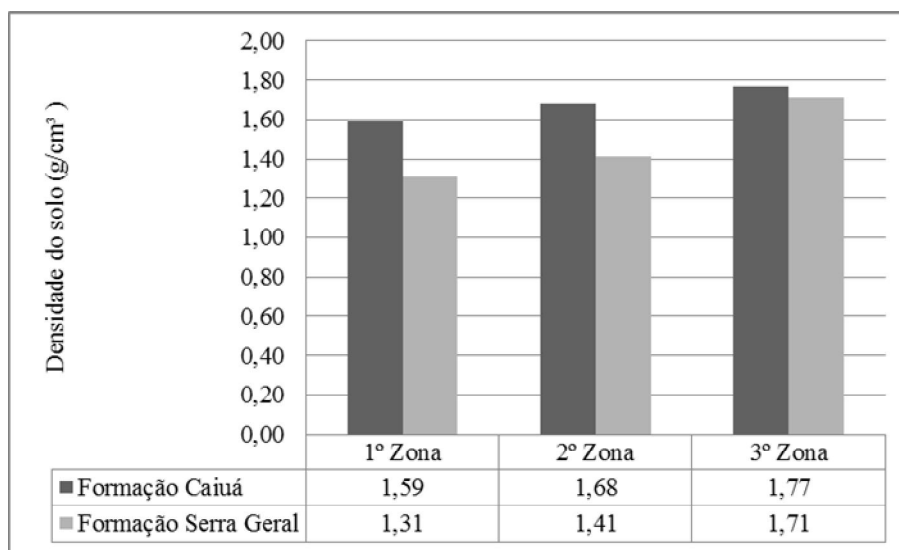


Figura 36 - Densidade do solo nos Latossolos da Formação Caiuá e Formação Serra Geral cultivados com cana-de-açúcar.

No Latossolo Argiloso, a porosidade nesta primeira zona de influência foi superior em 43,72% quando comparada à mesma zona do Latossolo arenoso (**figura 37**).

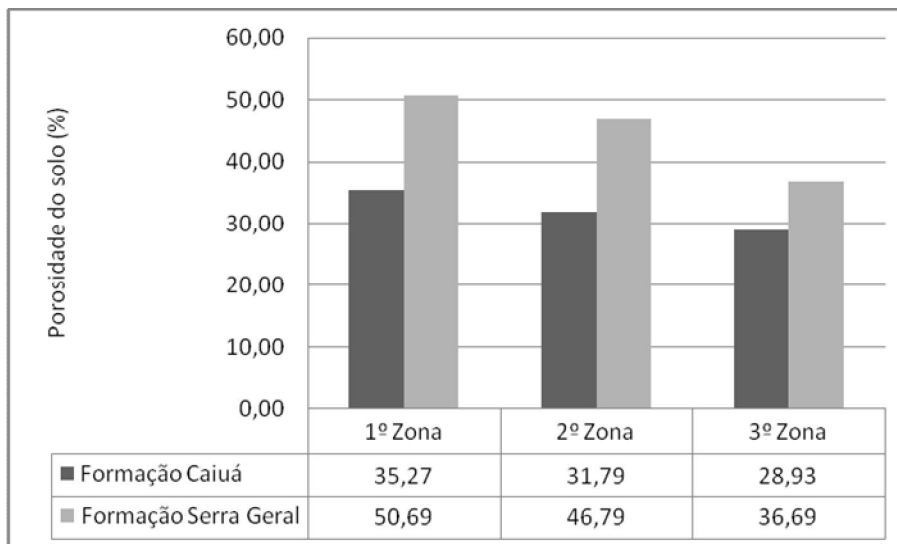


Figura 37 - Porosidade do solo nos Latossolos da Formação Caiuá e Formação Serra Geral cultivados com cana-de-açúcar.

A condutividade hidráulica do solo apresentou significativas variações quando comparadas as duas zonas de influência. No Latossolo argiloso ela foi substancialmente superior ao Latossolo arenoso, atingindo o valor 319% superior na capacidade de condutividade hidráulica (**figura 38**).

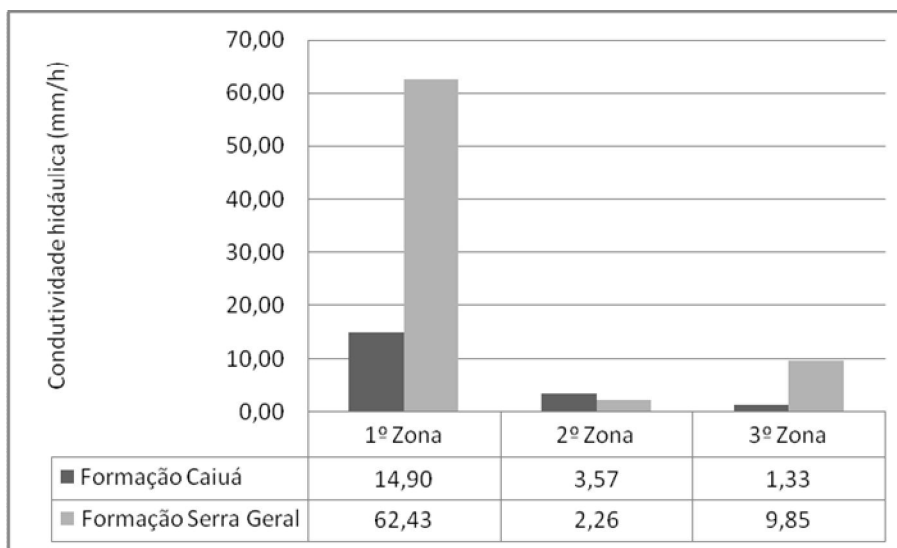


Figura 38 - Condutividade hidráulica do solo nos Latossolos da Formação Caiuá e Formação Serra Geral cultivados com cana-de-açúcar.

Na segunda zona de influência, o Latossolo arenoso e o Latossolo argiloso apresentaram valores de densidade considerados como críticos por Reichert et. al. (2003). O Latossolo

argiloso contou com valor de densidade inferior em 19,15% se comparado ao Latossolo arenoso da mesma zona, conferindo assim, ao Latossolo argiloso, melhores condições no que se refere à densidade do solo (**figura 36**).

Com relação à porosidade nesta segunda zona de influência, esta foi superior em 32,06%, no Latossolo argiloso quando comparada à mesma zona do Latossolo arenoso (**figura 37**).

A condutividade hidráulica do solo apresentou significativas variações quando comparadas as duas zonas de influência. No Latossolo argiloso ela foi substancialmente inferior ao Latossolo arenoso, atingindo o valor 36,69% inferior na capacidade de condutividade hidráulica, (**figura 38**).

Na terceira zona de influência pode-se constatar que a densidade de solo, tanto no solo arenoso como no solo argiloso, ficaram acima dos limites considerados como críticos por Reichert et. al. (2003). Entretanto, o Latossolo argiloso apresentou valor de densidade 3,51% menor que na mesma zona do Latossolo arenoso, apresentando desta forma, melhores condições no que se refere à densidade do solo (**figura 36**).

A porosidade nesta terceira zona de influência foi superior em 21,15% no Latossolo argiloso quando comparada à mesma zona do Latossolo arenoso (**figura 37**).

A condutividade hidráulica do solo apresentou significativas variações quando comparadas as duas zonas de influência: no Latossolo argiloso ela foi substancialmente superior ao Latossolo arenoso, atingindo o valor 640,60% superior na capacidade de condutividade hidráulica (**figura 38**).

Diante da confrontação dos valores obtidos para as principais propriedades físicas do solo, observa-se que, no Latossolo arenoso, o efeito da compactação é menor do que no Latossolo argiloso, e embora o Latossolo argiloso conte com melhores condições de propriedades físicas se comparado ao Latossolo arenoso, o manejo agrícola altera mais seus valores.

Para tanto, as condições de umidade de solo no momento das operações do manejo da cana-de-açúcar devem ser observadas com extrema atenção, a fim de que haja o mínimo impacto possível para os volumes de solo, de forma a manter suas condições próximas ao natural.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre as classes de Latossolo estudadas no município de São Carlos do Ivaí – PR, a que apresentou os melhores índices nas suas características físicas, químicas e hídricas foi o Latossolo vermelho eutroférico textura argilosa, derivado da decomposição das rochas da Formação Serra Geral.

Os Latossolos de textura média derivados da decomposição das rochas da formação Caiuá, contaram com um desequilíbrio mais elevado nos índices das características analisadas, expressando assim, um maior grau de suscetibilidade à degradação ambiental.

Esta superioridade de qualidade das condições físicas, químicas e hídricas do Latossolo argiloso desaparece quando o mesmo é submetido ao manejo agrícola da cana-de-açúcar, pois esta classe de solo apresenta maiores variações de suas condições naturais se comparada aos Latossolos textura média.

Sob condições naturais, e recoberto por vegetação, o Latossolo da Formação Caiuá apresentou dois volumes: o volume de solo A, que contou com densidade de 1,29 g/cm³, porosidade total de 50,23% e condutividade hidráulica de 188,64 mm/h; e o volume de solo B, com densidade de 1,57 g/cm³, porosidade total de 33,72% e condutividade hidráulica de 39,14 mm/h.

O Latossolo da Formação Serra Geral também contou com dois volumes: o volume de solo A, que apresentou densidade de 0,95 g/cm³, porosidade total de 62,11% e condutividade hidráulica de 837,27 mm/h; e o volume de solo B, com densidade de 1,15 g/cm³, porosidade total de 50,05% e condutividade hidráulica de 118,35 mm/h.

Sob o manejo da cana-de-açúcar, o Latossolo da Formação Caiuá contou com cinco volumes de solo distintos, de acordo com os níveis de compactação. Esses volumes de solos podem ser divididos em três zonas distintas com características físicas semelhantes, nas quais a influência do manejo agrícola também é semelhante, devido as suas posições na trincheira.

Na primeira zona de influência próxima à superfície, onde as influencias do manejo agrícola do solo afetam diretamente as características de suas propriedades, a densidade média foi de 1,59 g/cm³, porosidade total de 35,27% e condutividade hidráulica de 14,90 mm/h. Esta

primeira zona de influência conta com a vantagem de algumas atividades realizadas no manejo agrícola, como o revolvimento das camadas compactas.

A segunda zona de influência, por estar em subsuperfície, recebe apenas a influência da compactação. As operações de escarificação realizadas no momento do cultivo da cana-de-açúcar não atingem esta zona. Por isso, nota-se uma elevação nos índices da densidade média que passa para 1,68 g/cm³, a porosidade total se reduz para 31,79% e conseqüentemente a condutividade hidráulica reduz para 3,57 mm/h.

A terceira zona de influência, a que se encontra em maiores profundidades no perfil, contou com os valores de 1,77 g/cm³ para densidade do solo, 28,93% para porosidade total e 1,33 mm/h de condutividade hidráulica, representando assim, a zona com maiores desequilíbrios nas condições físico-hídricas.

O Latossolo da Formação Serra Geral sob o manejo da cana-de-açúcar contou com sete volumes de solo distintos de acordo com os níveis. Estes volumes foram divididos em três zonas distintas com características físicas semelhantes, nas quais a influência do manejo agrícola também é semelhante devido as suas posições na trincheira.

Na primeira zona de influência a densidade média foi de 1,31 g/cm³, porosidade total de 50,69% e condutividade hidráulica de 62,43 mm/h.

Na segunda zona de influência a densidade média foi de 1,41 g/cm³, porosidade total de 46,79% e condutividade hidráulica de 2,26 mm/h.

Na terceira zona de influência a densidade foi de 1,71 g/cm³, porosidade total de 36,69% e condutividade hidráulica de 9,85 mm/h.

Através da comparação das características físico-hídricas que os Latossolos analisados apresentaram quando comparados sob condições naturais e sob o cultivo da cana-de-açúcar, constata-se que o derivado da Formação Serra Geral contou com maiores variações.

Embora os Latossolos da Formação Serra Geral sejam mais estáveis a alguns impactos, principalmente os ligados a erosão, devido sua maior estabilidade proporcionada pelos elevados teores de argila, eles sofrem com compactação, pois retém maiores quantidades de água em sua rede de poros.

Através do estudo é possível constatar que ambas as classes de solos necessitam de cuidados especiais no manejo agrícola para que se possa minimizar os impactos e maximizar o aproveitamento do solo como recurso natural, mantendo suas características físico-hídricas em bom funcionamento.

Os Latossolos textura média necessitam de maior atenção no que se refere à contenção do fluxo hídrico, tanto em superfície quanto em subsuperfície, pois são solos que apresentam grande suscetibilidade erosiva.

Já os Latossolos textura argilosa necessitam de maior atenção no que se refere à compactação, pois são solos que retém grande quantidade de água em sua rede de poros, o que facilita a compressão pelas máquinas utilizadas no manejo agrícola.

Portanto, espera-se que novos trabalhos com esse enfoque sejam realizados com mais escalas de detalhamento, visando realizar comparações entre outras classes de solos bem como outras culturas, para que assim, seja possível ressaltar a importância do manejo agrícola respeitando as condições e características de cada classe de solo.

REFERÊNCIAS

AGROBYTE. *Cana-de-açúcar: (Saccharum híbridas)*. 2007. Disponível em: <<http://www.agrobyte.com.br/cana.htm>>.

ALVES, G. B. *O perfil cultural nos principais sistemas pedológicos do município de Maracá/SP*, Universidade Estadual de Maringá, UEM, Dissertação de Mestrado 2010.

AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D. *Solos e Ambiente: uma introdução*. Santa Maria. Ed. Pallotti. UFSM, 100p. 2004.

AZEVEDO, A. C.; PEDRON, F. de A.; DALMOLIN, R. S. D. A evolução da vida e as funções do solo no ambiente. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: SBCS, v. 5, p. 1- 48. 2007.

AZEVEDO, H. J. *Fisiologia da cana-de-açúcar*. Araras: Programa Nacional de Melhoramento da cana-de-açúcar, 108p. (Apostila) 1981. Acessado em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052008000100002>

BAYER, C. *Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos*. Tese de Doutorado em Ciência do Solo, PPG-Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 241 p. 1996.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. *Conteúdo de nitrogênio total num solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura* Revista Brasileira de Ciências do Solo, v.21 p.235-239. 1997b.

BEZERRA, J.R.; SANTOS, J.W. *Sistema de Produção - Cultivo do Algodão Irrigado*. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2003. Disponível em:<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrrigado_2ed/index.html>

BLANCANEUX, P.; FREITAS P. L.; AMABILE R. F. *Sistematização e adaptação da metodologia para a caracterização do Perfil Cultural*. In: Reunião técnica sobre a metodologia do Perfil Cultural. Londrina: UEL/CCA, 1991.

BOCQUIER, G. *Génèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad: interprétation by o géodinamique*. Paris, ORSTOM, 1973. 350p. (Mémoires ORSTOM, 62). Disponível http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes2/memories/05969.pdf.

BORGES, E. N.; LOMBARDI NETO, F.; CORRÊA, G. F.; BORGES, E. V. S. *Alterações físicas introduzidas por diferentes níveis de compactação em Latossolo Vermelho-Escuro textura média*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.34, n.9, p.1663-1667, 1999.

BORGES, E. N.; NOVAIS, R. F.; REGAZZI, A. J.; FERNANDES, B.; BARROS, N. F. *Respostas de variedades de soja à compactação de camadas de solo*. Revista Ceres, Viçosa, v. 35, n. 202, p. 553-568, 1988.

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. *Analyse Structurale et Cartographie em Pédologie. II Une méthode d'analyse éprenant en comptel'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques*. Cah. ORSTOM, sérei. Pédologique, vol. 19, n. 4, p.309-322. 1982a.

BOULET, R.; HUMBEL, F. X. e LUCAS, Y. *Analyse Structurale et Cartographie em Pédologie. II Une méthode d'analyse éprenant en comptel'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques*. Cah. ORSTOM, sérei. Pédologique, vol. 19, n. 4, p.323-339, 1982b.

BOULET, R.; HUMBEL, F. X. e LUCAS, Y. *Analyse Structurale et Cartographie en pédologie. III Pasaje de laphas e analytique à une cartographie générale synthétique*. Cah. ORSTOM, série. Pédologique, vol. 19, n. 4, p.341-351, 1982c.

BOULET, R. *Os sistemas de transformação em pedologia*. Boletim de Geografia Teorética, Rio Claro, v. 20, n. 39, p. 45-63, 1990.

BRADY, N. C. *Natureza e Propriedade dos Solos*. 7.ed. Freitas Bastos, Rio de Janeiro, 898p. 1989.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. *Infiltração da água no solo*. 3. ed. Viçosa: UFV, 120 p. 2006.

BRAUNBECK, O.; OLIVEIRA, J. *Colheita de cana-de-açúcar com auxílio mecânico*. Engenharia agrícola, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 300-308, 2006.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. *Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas*. Piracicaba: ESALQ, 132p. 1997.

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; DIAS, F. L. F.; CASAGRANDE, A. A.; SILVA, A. R.; MUTTON, M. A.; CENTURION, J. F. *Efeito prolongado de sistemas de preparo do solo com e sem cultivo de soqueira de cana crua em algumas propriedades físicas do solo*. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.25, n.1, p.189-198, 2005.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P; RUMJANEK, V. M.; RESENDE, C. E.; SANTOS, G. A. *Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo*. Revista Brasileira de Ciências do solo, v.27, p.935-944, 2003.

CARPENEDO, V. *Qualidade e estabilidade de agregados de Latossolo roxo submetido a diferentes manejos*. 119 f. Dissertação Mestrado em Agronomia, UFRS, Porto Alegre, 1985.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. *Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais*. Revista Brasileira de Ciência do Solo. v.14, p. 133-142, 1990

CAVIGLIONE, J. H., KIIHL, L. R. M., CARAMORI, P. H. *Cartas climáticas do Paraná – edição 2000, versão 1.0*. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 2000. (versão em CD ROM)

CENTURION, J. F.; CARDOSO J. P.; NATALE, W. *Efeitos de formas de manejos em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agrossistemas*. Revista brasileira de Engenharia agrícola e ambiental, v.5 n.2, p. 254-258, 2001.

CENTURION, J. F. *Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolo Vermelhos*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, n. 02, p. 199-209, 2007.

CERRI, C.C. *Dinâmica da matéria orgânica do solo no agrossistema cana-de-açúcar*. Piracicaba, 197p. Tese Livre-Docência – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. 1986.

CERRI, C.C.; FELLER, C.; CHAUVEL, A. *Evolução das propriedades de um latossolo vermelho escuro após desmatamento e cultivo por doze e cinquenta anos com cana-de-açúcar*. Cah. ORSTOM, série Pedológica, v.26, n. 1, p.37-50, 1991.

COELHO, R. D.; MIRANDA, J. H. de; DUARTE, S. N. *Infiltração da água no Solo*. Parte II - acúmulo de água sobre a superfície do terreno. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 142-145. 2000b.

COQUET, Y.; VACHIER, P. & LABAT, C. *Vertical variation of near saturated hydraulic conductivity in three soil profiles*. Geoderma, v.126, p. 181-191, 2005.

CORSINI, P. C. *Modificações de características físico-hídricas em perfis das séries Jaboticabal e Santa Tereza, ocasionadas pelo cultivo intensivo*. Científica, São Paulo, v.2, n.2, p.148-161, 1974.

COSTA, M. C. G. *Distribuição e crescimento radicular em soqueiras de cana-de-açúcar: dois cultivares em solos com características distintas*. 88 p. Tese Doutorado em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

CUNHA, J. E.; CASTRO, S. S. *Caracterização físico-hídrica e micromorfológica da topossequência Córrego Longe, em Umuarama, PR*. In: XIII Congresso Latino-Americano de Ciência do Solo, 1996, Água de Lindóia. Anais. Piracicaba: SBCS/ESALQ, 1996.

CUNHA, J. E.; CASTRO, S. S.; SALOMÃO, F. X. T. *Comportamento erosivo de um sistema pedológico de Umuarama, noroeste do Paraná*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa. MG, v. 23, n. 4, p. 943-952. 1999.

CUNHA, J. E. *Caracterização morfológica (macro e micro) e comportamento físico-hídrico de duas toposeqüências em Umuarama (PR): subsídios para avaliação dos processos erosivos*. USP-FFLCH, Departamento de Geografia, São Paulo, 130 p. Dissertação de Mestrado. 1996.

CUNHA, J. E. *Funcionamento hídrico e suscetibilidade erosiva de um sistema pedológico constituído por Latossolo e Argissolo no município de Cidade Gaúcha-PR*. São Paulo, Universidade de São Paulo, 175p. Tese de Doutorado 2002.

DELVIGNE, J. *Pédogenèse en zone tropicale - La formation des minéraux secondaire sem milieu ferrallitique*. Paris, ORSTOM, 1965. 177p.

DEXTER, A. R. *Advances in characterization of soil structure*. Soil & Tillage Research, v. 11, p. 199-238, 1988

DIAS JUNIOR, M. S. & PIERCE, F. J. *O processo de compactação do solo e sua modelagem*. Revista Brasileira Ciências do Solo, v.20, p.175-182, 1996.

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária. *Sistema Brasileiro de classificação de solos*. 3ª ed. Brasília-DF: Centro Nacional de Pesquisa Solos, 353 p. 2013.

_____. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro, 212 p. 1997.

_____. *Mapa de Solos do Estado do Paraná*. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos: EMBRAPA: Solos e Florestas, 95p. (ISSN 1517-2627) 2007.

ESPINDOLA, C. R. *Retrospectiva crítica sobre a pedologia*. Campinas: UNICAMP, 397 p. 2008.

FERNANDES, L. A. *A Cobertura Cretácea Suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os Grupos Bauru e Caiuá*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo – Instituto de Geociências. São Paulo, 1992.

FIORIN, T. T. *Estimativa da infiltração de água no solo a partir de pedofunções*. 97 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) 2008.

FONTES, M. P. F.; ALLEONI, L. R. F. *Electrochemical attributes and availability of nutrients, toxic elements, and heavy metals in tropical soils*. Sci. Agric., v.63, p.589-608, 2006.

FREGONEZI, G. A. F.; ESPINDOLA, C. R. *Perfil de manejo na identificação de modificações química do solo decorrente do uso agrícola*. Semina: Ciências agrárias, v.26, p. 485-498, 2008.

FREITAS, P. I.; BLANCANEUX, P. *Metodologia de pesquisa em manejo do solo: estrutura e porosidade do solo*. Passo Fundo: RPOCISUR/EMBRAPA/CIMM, 1990.

GASPARETTO, N. V. L e SOUZA, M. L. *Contexto Geológico-Geotécnico da Formação Caiuá no Terceiro Planalto Paranaense – PR*. Anais do Primeiro Encontro Geotécnico do Terceiro Planalto Paranaense (Engeopar). Maringá, 2003.

GRAÇA, C. H. *Comportamento edafoclimático em anos atípicos (seco e chuvoso) nos municípios de São Carlos do Ivaí e Florai – PR*, Maringá, PR, dissertação de mestrado 2013.

GRIMALDI, M.; BOULET, R.; *Relation entre l'espace por aletle fonctionnement hydrodynamique d'une couverture pedologique sursocle de Guyane Francaise*. ORSTOM, Cah. Pedol. v.25 , 265–275. 1989.

HÉNIN, S.; GRAS, R.; MONNIER, G. *Le profil cultural*. Paris, Masson, 1960.

HÉNIN, S; GRAS, R.; MONNIER, G. *Os solos agrícolas*. Tradução Orlando Valverde. São Paulo: Forense Universitária, 327 p. tradução de: Le profil cultural. 1976.

HORN, R.; WAY, T. & ROSTEK, J. *Effect of repeated tractor wheeling on stress/ strain properties and consequences on physical properties in structured arable soils*. Soil Tillage Research, v.73,101-106. 2003

IAIA, A. M.; MAIA, J. C. S.; KIM, M. E. *Uso do penetrômetro eletrônico na avaliação da resistência do solo cultivado com cana-de-açúcar*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, p.523-530, 2006.

IBGE- *Instituto brasileiro de geografia e estatística*, Base Cartográfica Integrada do Brasil ao Milionésimo Digital - divisão territorial, 2009.

_____*Histórico do município de São Carlos do Ivaí 2010*. http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/topo_doc3.shtm

IPARDES *Instituto paranaense de desenvolvimento econômico e social*- base de dados do estado 2012. http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/cadernos_municipios/saocarlosdoivai2012.pdf

ITCG *Instituto de terras, cartografia e geociências*. Produto cartográfico 2010 disponível em <<HTTP://www.itcg.pr.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=47>>

JABUR, J. C.; SANTOS, M. L. *Revisão estratigráfica da formação Caiuá*. Boletim de Geografia (UEM). Maringá v.2 p91-106. 1984

KAMINSKI, J. *Resposta de culturas à aplicação de calcário em superfície ou incorporado ao solo em campo nativo*. Ciência Rural, Santa Maria, v.30, p.605-609, 2000.

KÄMPF, N.; CURI, N. *Argilominerais em solos brasileiros*. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L.R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ V. V. H. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.1-54, 2003.

KIEHL, E. J. *Manual de edafologia: relações solo – planta*. São Paulo: Agronômica Ceres, 264 p. 1979

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. *Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não-saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo*. Ciências Rural, v.32, p. 945-953, 2002.

KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E. *Implantação e manejo do sistema plantio direto*. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 2000. 36p.

KÖEPPEN, W. *Climatologia: con um estúdio de los climas de la Tierra*. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 478p

KONDO, M. K.; DIAS JÚNIOR, M. S. *Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa - MG, v.23, n.2, p.211-218, 1999.

LEPSCH, Igor F. *Formação e conservação dos solos*. São Paulo: Oficina de Textos, 216 p. 2002.

LETEY, J. *Relationship between soil physical properties and crop reduction*. Adv. Soil Science, New York, v.1, 277-294 p, 1985.

MAACK R. *Contribuição à história das explorações geográficas e geológicas do estado do Paraná*. In: MAACK, R. *Geografia Física do Paraná*. Curitiba: BADEP, UFPR, 450 p. 1968.

MAACK, R. *Geografia física do Estado do Paraná*. Ed. Paraná. 3ª Ed. 2002, 450 p.

MACEDO, N. M.; BOTELHO, P. S. M.; CAMPOS, M. B. S. *Controle químico de cigarrinha-da-raiz em cana-de-açúcar e impacto sobre a população de artrópodes*. Stab Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.21, p.30-33, 2003.

MANICHON, H.; GAUTRONNEAU, Y. *Guide méthodique du profil cultural*. Paris: Gera et Cefet, 71p.1987.

MANICHON, H. *Influence des systèmes de culture surle profil cultural: élaboration d'une méthode de diagnostic bassé esurl'observation morphologique*. Paris, INA-PG. 241 p.Tese de Doutorado,1982.

MARTINS, V. M. *Caracterização morfológica e da circulação hídrica dos solos da cabeceira de drenagem do Córrego Bom Jesus no município de Cidade Gaúcha-PR*. DG/FFLCH/USP, 135p. Dissertação de Mestrado. 2000.

MATHIEU, C.; PIELTAIN, F. *Analyse physique des sols: méthodes choisies*. Paris, Lavoisier Tec. & Doc., 275p. 1997.

MEURER, E. J. *Fundamentos de química do solo*, 3ª.ed. Porto Alegre, Evangraf, 285p 2006.

MEDINA, C.C. *Estudo da aplicação de gesso, calcário e vinhaça na produção e enraizamento de cana-de-açúcar (Saccharum spp)*. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, p. 175, Tese de Doutorado, 1993.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. *A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo*. Ciências Rurais, v.34, 963-969, 2004.

MICHELON, C. J. *Pedofunções para retenção de água de solos do Rio Grande do Sul irrigados por aspersão*. Tese (doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência dos solos, da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

MILNE, G. *Some suggested of classification and mapping particular for east African*. Soil res. n.4, v. 2, p.183-198, 1934.

MINEROPAR - *Atlas Geológico do Estado do Paraná 2001*. <<http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/MapasPDF/atlasgeo.pdf>>

MONTEIRO, C. A. F. *Clima Grande Região Sul*. Rio de Janeiro: IBGE. v.4, t.1, p-114-166. 1968.

MUNSELL, Color Company. *Munsell soil color charts*. Baltimore, 1975.

NAKASHIMA, P.; NÓBREGA, M. T. *Solos do Terceiro Planalto do Paraná*. Anais do Primeiro Encontro Geotécnico do Terceiro Planalto Paranaense (Engeopar). Maringá, 2003.

NAKASHIMA, P. *Sistemas Pedológicos da Região Noroeste do Paraná: Distribuição e Subsidio para Controle de Erosão.VOL I e II*, 1999, 237 p, Tese (Doutorado em Geografia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999

PANKHURST, C. E.; MAGAREY, R. C.; STIRLING, G. R.; BLAIR, B. L.; BELL, M. J.; GARSIDE, A. L. *Management practices to improve soil health and reduce the effects of detrimental soil biota associated with yield decline of sugarcane in Queensland, Australia*. *Soil&Tillage Research*, Amsterdam, v.72, n.2, p.125-137, 2003.

PARANÁ. *Atlas do Estado do Paraná*. Curitiba: Secretaria do Estado da Agricultura e do Abastecimento, Instituto de Terras, Cartografia e Florestas. 73 p. 1987.

PAULINO, A. F.; MEDINA, C. C.; AZEVEDO, M. C. B.; SILVEIRA, K. R. P.; TREVISAN, A. A.; MURATA, I. M. *Escarificação de um Latossolo Vermelho na pós-colheita de soqueira de cana-de-açúcar*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa - MG, v.28, n.5, p.911-917, 2004.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D.; SIQUEIRA, R.; ANDROCIOLI FILHO, A. *O sistema de plantio adensado e a melhoria da fertilidade do solo*. Piracicaba, Potafós, p.1-7. 1997. (Informações Agronômicas, 80)

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L.; CRESTANA, S. *Sistemas de cultivo de arroz irrigado e a compactação de um Planossolo*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v.36, p.709-715, 2001.

PEREIRA, S. E. M.; MANZATTO, C. V. *Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar do Brasil para a Produção de Etanol e Açúcar: Seleção de Terras Potenciais para a Expansão do seu Cultivo*. Caderno Síntese – Estados. BRA 03/034 – Projeto Geosafra – Aperfeiçoamento Metodológico da Previsão de Safras – Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar no Brasil. 2009.

PINESE, J. P. P. e NARDY, A. J. R. *Contexto Geológico da Formação Serra Geral no Terceiro Planalto Paranaense*. Anais do Primeiro Encontro Geotécnico do Terceiro Planalto Paranaense (Engeopar). Maringá, 2003.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS DO IVAÍ. História da Colonização. 2010. Disponível em: <http://www.saocarlosdoivai.pr.gov.br/cidade.php>

PRIMAVESI, A. *Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais*. 9.ed. São Paulo: Nobel, 541p. 1990.

QUEIROZ NETO, J. P. *Agricultura Brasileira, pesquisa de solos e sustentabilidade*. In: Patrimônio Ambiental Brasileiro. EDUSP - Imprensa Oficial: São Paulo, p.49-75. 2003.

QUEIROZ NETO, J. P. *Análise estrutural da cobertura pedológica: uma experiência de ensino e pesquisa*. Revista do Departamento de Geografia, v. 15, p. 77-90, 2002.

QUEIROZ NETO, J. P. *Geomorfologia e Pedologia*. Revista Brasileira de Geomorfologia. V. 1, p. 59-67, 2000.

QUEIROZ NETO, J. P. *O estudo de formações superficiais no Brasil*. Revista do Instituto Geológico. v. 22, p. 65-78, 2001

RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C. *The cultural profile methodology utilization to evaluate the tillage effects and tillage equipment efficiency*. In: WORLD CONGRESS ON AGRICULTURAL ENGINEERING, 12, Milano, 1994. Proceedings. Merelbeke, CIGR, p.1273-1279.1994.

RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C.C.; TAVARES FILHO, J.; DERSIGNY, C. G.; VISINTIN, L. M. B. *O método do perfil cultural para auxiliar na avaliação dos efeitos do preparo sobre a estrutura do solo*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Londrina, 1991. Anais. Londrina, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, p.1374-1382, 1991.

RAMÃO, F. P.; SCHNEIDER, I. E.; SHIKIDA, P. F. A. *Padrão tecnológico no corte de cana-de-açúcar: um estudo de caso no Estado do Paraná*. Revista de economia agrícola, São Paulo, v. 54, p. 21-32, 2007.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. *Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações*. Barueri: Manole, 2004.

REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; CABEDA, M. S. V. *Índices de estabilidade de agregados e suas relações com características e parâmetros de solo*. R. Bra. Ci. Solo, 17:283-290, 1993.

RESENDE, M.; CURI, N.; LANI, J. L. *Tropical soils: implications on sustainable development*. In: SCIENCE for sustainable development in Latin America and the Caribbean. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1999.

ROBAIN, H.; CURMI, P. *Role de La structure sur Le comportementhy drique Du sol auxfaibles PF*. Comtes Rendus de l'Academie dès sciences de Paris 203, 509-415. 1986.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACK, G. *As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná*. Ciência e Ambiente. Santa Maria, v.24, p.75-92, 2002.

RODRIGUES, J. D. *Fisiologia da cana-de-açúcar*. Botucatu: UNESP, 100p. (apostila) 1995. Acessado<<http://www.scielo.br/pdf/cr/v40n3/a498cr1855.pdf>>

ROSS, J. L. S. *O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da Taxonomia do relevo*. In.: Revista do Departamento de Geografia, FFLCH – USP n.6. São Paulo 1992

RUELLAN, A.; DOSSO, M. *Regards sur le sol*. Paris: Éditions Foucher-AUPELF, Collection Universités francophones, 1993. 192 p. Tradução: Alain Ruellan e Selma Simões de Castro. 2005. CD-ROM.

SANTI, A. L. *Infiltração de água no solo, em áreas com diferentes potenciais de produtividade e manejadas com técnicas de agricultura de precisão*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, v.2, 2006, São Pedro. Anais. Piracicaba: USP: ESALQ, 2006. CD-ROM.

SANTOS, L. J. C. *Contribuição da análise estrutural da cobertura pedológica ao desenvolvimento da ciência do solo*. Revista RA'EGA. V. 4, 2000, p.131-138. Disponível em: <<http://calvados.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/raega/article/viewFile/3344/2680>>.

SANTOS, L. J. C.; FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S. *Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná*. Revista Brasileira de Geomorfologia. n.2 p3-12. 2006.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; CURTI, 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 Ciência do Solo, Viçosa - MG, v.33, n.1, p.159-168, 2009.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; LIMA, J. F. W. F. *Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, n.1, p.833-842, 2005.

SILVEIRA, H. *Degradação das propriedades de Latossolos Vermelho escuro em função da ação antrópica no Município de Cianorte-PR*. Monografia Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 1994.

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B.; FULFARO, V. J.; SOBREIRO NETO, A. F. *Ensaio de caracterização estratigráfica do cretáceo no estado de São Paulo: Grupo Bauru*. Revista Brasileira de Geociências. São Paulo v. 10 p177-185 1980.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. *Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas de relevo sob cultivo de cana-de-açúcar*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa – MG, v.28, n.3, p.937-944, 2004.

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

STÜRMER, S. L. *Relação da granulometria do solo e morfologia do aprotito com a infiltração de água em Neossolos Regolíticos do rebordo do Planalto do Rio Grande do Sul*. Ciência Rural, Santa Maria, v. 39, n. 7, p. 2057-2064, 2009.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. *Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (Zeamays) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, n.3, p.725-730, 2001.

TAVARES-FILHO, J.; FONSECA, I. C. B.; RIBON, A. A.; BARBOSA, G. M. C. *The soil chiseling effects in hydraulic conductivity of the Red Latosol (Oxisol) under No-tillage system*. Ci. Rural, v.36, 996-999, 2006.

TAVARES FILHO, J. *Organisation et comportement des Latosols du Paraná (Brésil). Influence de leur mise en culture*. Nancy, Université de Nancy I, 229p. Tese de Doutorado, 1995.

TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; BALBINO, L. C.; NEVES C. S. V. J. *Método do Perfil Cultural para a avaliação do estado físico de solos em condições tropicais*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 23, p. 393-399, 1999.

TRICARD, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro. IBGE p.91. 1977.

VELOSO, C. A. C.; BORGES, A. L.; MUNIZ, A. S.; VEIGAS, I. A. J. M. *Efeito de diferentes materiais no pH do solo*. Scientia agrícola, Piracicaba, v.49, n.1, p.123-128, 1992.

VIDAL TORRADO, P. V.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. *Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas*. In: *Tópicos em Ciência do Solo*. V. IV (2005), Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.

VIDAL TORRADO, P. *Morfogênese e pedogênese no distrito de Tupi (Piracicaba-SP)*. 208p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. 1994

ZAGO, A. *Sistema pedológico Latossolo-Argissolo e seu comportamento físico-hídrico em Mamborê, PR*. São Paulo, Universidade de São Paulo, 161p. Tese de Doutorado, 2000.

WACLAWOVSKY, A. J.; SATO, P. M.; LEMBKE, C. G.; MOORE, P. H.; SOUZA, G. M. *Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content*. Plant Biotechnology Journal v. 8. p. 1-14, 2010.