



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**COORDENADORIA DE PROGRAMAS ESPECIAIS COORDENADORIA**  
**GERAL DE PROGRAMAS ESPECIAIS**  
**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**  
**(2015 - 2016)**

**RELATÓRIO FINAL DAS ATIVIDADES DO BOLSISTA DO PROGRAMA**  
**INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq)**

Recife - PE

2016

## **IDENTIFICAÇÃO**

ALUNO: Pedro Henrique Santos de Oliveira

CURSO: Engenharia Agrícola e Ambiental

PROGRAMA: PIBIC

ORIENTADOR(a): Mara Suyane Marques Dantas

TÍTULO DO PROJETO: Avaliação da compactação de solos coesos em tabuleiro costeiro.

## **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICA DO SOLO DE UMA ÁREA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

### **RESUMO**

O uso sustentável dos recursos naturais, especialmente do solo e da água, tem-se constituído em tema de crescente relevância, em razão do aumento das atividades antrópicas. Conseqüentemente, cresce a preocupação com o uso sustentável e a qualidade desses recursos. Para tanto, desenvolveu-se um experimento como objetivo avaliar o estado da qualidade física do solo cultivado com cana-de-açúcar e uma de floresta nativa. O solo foi proveniente de uma área de produção de cana-de-açúcar, localizada na Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina (EECAC), da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizada no município de Carpina. A área de estudos apresentava em média quarenta e cinco anos de exploração da cultura da cana-de-açúcar. Para avaliar a qualidade física do solo foram realizadas amostragens do solo deformadas e indeformadas com profundidades de 0-40 cm, na área de estudo. Para determinação do índice de qualidade do solo foram avaliados seis indicadores de qualidade: densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, resistência a penetração do solo, estabilidade de agregados, matéria orgânica. A área de floresta nativa apresenta ótimo índice de qualidade física do solo. A área de produção de cana-de-açúcar apresenta ruim índice de qualidade física do solo. O uso e manejo do solo agem negativamente na qualidade física do solo.

**Palavra-Chave:** Índice, sistema de manejo, densidade, resistência do solo.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se como maior produtor mundial de cana-de-açúcar, açúcar e etanol (MAPA, 2015), representando assim, grande importância econômica, social e ambiental ao país. O estado de São Paulo é o maior produtor com 51,43% (4.678,8 mil hectares), seguido por Goiás com 9,85% (896,06 mil hectares), Minas Gerais com 8,8% (800,91 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 7,63% (693,77 mil hectares), Paraná com 7,07% (642,98 mil hectares), Alagoas com 4,41% (401,34 mil hectares) e Pernambuco com 2,89% (263,03,39 mil hectares). Estes sete estados são responsáveis por 92,07% da produção nacional. Os demais estados produtores possuem áreas menores, com representações abaixo de 3% (CONAB, 2015).

Desde a chegada dos portugueses ao Brasil, tenta-se extrair o máximo de riquezas de nossas terras. Na região nordeste o maior sucesso foi à produção da cana-de-açúcar, no entanto, a necessidade de produção em grande escala acaba na maioria das vezes deixando de lado a conservação dos solos, ocasionando consequências graves. Assim, diante da necessidade e preocupação com a degradação dos recursos naturais, surge na comunidade científica desde os anos 90, o conceito de qualidade do solo, como um parâmetro de medida para avaliar a degradação do solo.

Estudo sobre como aperfeiçoar a produção da cana-de-açúcar buscando a conservação dos solos tem sido realizado, estabelecendo convenções e valores de indicadores de qualidade do solo (IQS), a fim de monitorar e estabelecer valores de referência para a qualidade do solo. Os indicadores físicos do solo comumente utilizados são a estabilidade de agregados; argila dispersa em água; densidade do solo; densidade da partícula e textura. Em Araújo et al., (2012) temos que os IQS (Indicadores de qualidade do solo) são baseados no arranjo das partículas sólidas e dos poros.

Os indicadores físicos indicam inicialmente a deficiência para o desenvolvimento de raízes, emergência de plântulas, infiltração ou movimento de água no perfil. A capacidade de retenção de água de um solo depende da quantidade e do tamanho dos poros. Os poros estão sob influência da textura, estrutura, matéria orgânica e mineralogia do solo (LOWERY et al., 1996). A estrutura do solo consiste no padrão dos arranjos das partículas primárias e poros do solo. A entrelaçada dinâmica de agregação resulta nas interações de fatores ambientais, de manejo de solo, influência da

planta e propriedades do solo, sendo frequentemente expressa em termos por estabilidade de agregados (BRONICK et al, 2005).

Neste sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar o índice de qualidade física do solo em uma área de floresta nativa e uma de produção de cana-de-açúcar.

## **2 - REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Cultura da Cana-de-Açúcar**

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma planta de ciclo semi-perene, típica de climas tropicais e subtropicais pertencente à família Poaceae, classe Liliopsida, subclasse Commelinidae e ordem Cyperales (CASTRO; KLUGER, 2001). Segundo Paranhos (1987), a ordem Cyperales, caracteriza-se por apresentar flores pequenas, sem perianto e protegidas por brácteas secas, reunidas em inflorescências. O fruto é seco do tipo cariopse e com semente de endosperma abundante. O caule é um colmo com nós e entrenós (ocos ou cheios). A espécie (*Saccharum spp*) são plantas eretas e rizomatosas e sua inflorescência é formada por racemos arrançados em grandes panículas.

De origem, provavelmente asiática, o seu cultivo iniciou-se há cerca de 10.000 anos a.C. em Papua Nova Guiné, expandindo-se na Polinésia. Por volta de 1.000 anos a.C. teve sua expansão na Península Malaia, Indochina e Baía de Bengala. No início do ano 640 d.C. atingiu o Mediterrâneo e no século IX teve-se a primeira descrição do processo da cultura e fabricação do açúcar na Índia (ÚNICA 2015).

Já no século XII, a cana chegou aos territórios portugueses, onde se tornou centro de pesquisas de novas culturas e aperfeiçoamento de tecnologia de plantio. Neste período, enquanto algumas terras portuguesas não se mostravam tão favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar, outras se mostravam com excelentes tipos de solo e clima para a produção como no caso da Ilha Madeira (MAGALHÃES, 2009).

A introdução da cana-de-açúcar nas Américas ocorreu por volta de 1.493 D.C., na segunda viagem de Cristovão Colombo, levando os colmos de cana-de-açúcar em regiões como a Republicana Dominicana (FIGUEIREDO, 2008). Em território nacional, a cultura chegou por volta de 1.532, introduzida por Martin Afonso de Souza, que fundou o primeiro engenho de açúcar brasileiro (denominado São Jorge dos Erasmos) na capitania de São Vicente, hoje Baixada Santista, litoral de São Paulo, implantando as variedades creola e caiana. Três anos depois, em 1.535, Jerônimo de

Albuquerque implantou o primeiro engenho de açúcar no Nordeste, nas proximidades de Olinda, Pernambuco (ÚNICA, 2015).

No século XVI foi introduzida no Brasil aquela que viria a ser a plantaço mais antiga em terras brasileiras da qual se tem conhecimento, a cana-de-açúcar. O responsável por tal feito foi Martim Afonso de Souza (Museu da cana-de-açúcar, 2016). Em Nordeste (Gilberto Freyre, 2004) é mencionado que devido a qualidade do solo brasileiro, o tempo do amadurecimento da cana-de-açúcar chegava a ser 6 vezes menor que em solos portugueses.

O primeiro engenho de açúcar do Brasil surge em Pernambuco, fundado em 1535 por Jerônimo de Albuquerque, chamado de engenho Nossa Senhora da Ajuda. Dentro de 10 anos, no Brasil já se encontravam aproximadamente 25 engenhos (Museu da cana-de-açúcar, 2016).

A monocultura da cana-de-açúcar logo se tornou determinante para questões políticas, sociais e econômicas do país. O povoamento passou a ser baseado nos engenhos, que por consequência promoveu a concentração de renda e a escravidão (Museu da cana-de-açúcar, 2016).

Atualmente o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar, podendo transformá-la em etanol, açúcar e biocombustível, sendo o país que mais produz etanol e açúcar do mundo. A produção de cana-de-açúcar no Brasil, hoje se dá com o pensamento de expansão sustentável, tendo por base fundamentos econômicos, ambientais e sociais (MAPA, 2016).

A produtividade média brasileira para a safra de 2014/2015 está estimada em 77,14 Mg ha<sup>-1</sup>, 4,6% menor que na safra 2013/14, que foi de 79,74 Mg ha<sup>-1</sup>. A região Nordeste possui uma área cultivada com cerca de 979,0 mil hectares, com uma produtividade em torno de 56,75 Mg ha<sup>-1</sup> e uma produção para a safra 2014/2015 estimada em 55,6 mil toneladas. Em Pernambuco, para a safra 2014/2015, serão cultivados 260,1 mil hectares, nos quais se estima obter uma produção de 14,4 mil toneladas de cana-de-açúcar para todos os usos. E a produtividade de 56,6 Mg ha<sup>-1</sup>, a qual se estima que seja utilizada como matéria-prima na produção de aproximadamente, 1,7 mil toneladas de açúcar e mais de 314,9 mil litros de álcool (CONAB, 2015).

## **2.2 Qualidade física do solo**

A noção de qualidade do solo tem evoluído à medida que se passa a ter maior conhecimento e compreensão dos solos e dos atributos de qualidade do solo (Karlén e

Stott , 1994). De acordo com Doran & Parkin (1994), temos que a qualidade do solo (QS), dentro dos limites do uso da terra e do ecossistema, consiste na capacidade de influência sobre diversas funções. Equilibrar a produtividade biológica, conservar a qualidade ambiental e manter a saúde das plantas, dos animais e do homem são exemplos dessas funções.

A qualidade do solo não pode ser medida diretamente, mas as propriedades do solo que são sensíveis a mudanças podem ser utilizados como indicadores (Andrews e Cambardella , 2004).

Doran & Parkin (1994) estabelecem uma série de atributos padrões para servirem de referência para qualidade do solo (QS), facilitando assim as comparações entre solos e os estudos sobre o tema, esses atributos consistem nas propriedades físicas, químicas e biológicas.

O estabelecimento de índices de qualidade do solo é útil para a avaliação de impactos ambientais quando biomas são inclusos ao processo produtivo, seja de forma extensiva ou intensiva. Sendo assim, uma ferramenta de extremo valor nas funções de controle, fiscalização e monitoramento de áreas destinadas à proteção ambiental.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Local**

O experimento foi realizado na Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina (EECAC), da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizada no município de Carpina, na Zona da Mata Norte do Estado de Pernambuco, situando-se a 7° 51' 13" de latitude sul e 35° 14' 10" de longitude oeste do meridiano de Greenwich e altitude de 180m, limitando-se a norte com Tracunhaém, Nazaré da Mata e Buenos Aires, a sul com Lagoa de Itaenga e Lagoa do Carro, a leste com Paudalho, e a oeste com Limoeiro, distando 42 km da capital, cujo acesso é feito pela BR-408.

O clima é caracterizado como megatérmico (As'), com vegetação natural de tipo florestal tropical chuvosa, com temperatura média de 25,9°C, máxima de 30°C e mínima de 21,7°C, com radiação solar global anual de 14,2 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, a precipitação pluvial anual de 1.094,4 mm distribuída irregularmente, precipitação de inverno e estação seca do verão até o outono segundo classificação de Köppen, apresentando uma umidade relativa de 70,3%. O solo da área é classificado como Argissolo Amarelo distrocoeso, de classe textural-franco-arenosa conforme Embrapa (2006).

### 3.2 Amostragem do solo e análises

Foram coletadas amostras de solo em uma área de produção de cana-de-açúcar, situadas na fazenda produtiva de cana-de-açúcar com tempo de uso médio de quarenta e cinco anos. As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-20cm de profundidade, para a realização das caracterizações físicas do solo.

O solo da área experimental foi caracterizado segundo os métodos descritos pela EMBRAPA, (2011) Tabela 1.

Tabela 1- Características físicas do solo da área experimental

Uso do solo	Dp <sup>1</sup> (g.cm <sup>-3</sup> )	Areia	Silte (g.kg <sup>-1</sup> )	Argila	Classe de Textura
45 Anos	2,69	866,00	43,50	90,50	Franco – Arenoso

<sup>1</sup>Densidade de partícula do solo.

Para determinação do índice de qualidade do solo foram avaliados seis indicadores de qualidade: densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, resistência a penetração do solo, estabilidade de agregados, matéria orgânica.

A densidade do solo (DS) foi estimada com amostra indeformadas feitas conforme a metodologia do “cilindro volumétrico” proposta pela Embrapa (2011).

A porosidade total do solo foi determinada por dedução matemática, a partir de informação obtida de amostras indeformadas da densidade do solo e a densidade da partícula de acordo com os procedimentos relatados por Camargo et al. (1986). Para a realização dos cálculos da porosidade do solo será utilizada a seguinte equação:

$$Pt = (1 - Ds/Dp) \quad (1);$$

em que: PT é a porosidade do solo (%); Ds é a densidade do solo (g.cm<sup>-3</sup>) e Dp é a densidade de partículas (g.cm<sup>-3</sup>).

A macroporosidade (PMA) e a microporosidade (PMI) serão obtidas através da metodologia da EMBRAPA (2011); a PMI será obtida a partir da quantidade de água retida nas amostras indeformadas de solo submetidas à tensão de -6kPa na câmara de pressão de Richards com placa porosa. A PMA será calculada pela diferença entre a porosidade total do solo e a microporosidade.

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi obtida utilizando o medidor automático de compactação do solo SoloTrack PLG5200, com haste HR10 e Cone Tipo 2 (semiângulo 30° e resistência de 7.900kPa); o penetrômetro eletrônico

automatizado de velocidade constante, foi configurado para tomar dados de resistência a cada 0,1cm de profundidade em um perfil de 0,0cm até 40cm de cada uma das áreas experimentais; a RP foi realizada sob condições secas (condições de umidade de campo) e logo após de saturação do solo. Para obtenção de umidades atual no solo, realizou-se os procedimentos da metodologia descrita pela (EMBRAPA, 2011),

A estabilidade dos agregados (EA) dos solos será determinada via úmida, com amostras de solo indeformadas da camada superficial (0-20cm); O tamisamento das amostras no aparelho de Yoder, segundo o método descrito por Kiehl (citado por, Demarchi, Perusi, & Piroli, 2012), permitiu obter a estabilidade dos agregados em água. Os tamises necessárias para determinar a EA, foram 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,25mm e, pela suspensão dos pesos dos agregados tamisados e da mostra total, também foram obtidos os valores dos agregados <0,25mm. O índice de estabilidade de agregados foi determinada com a equação (3) descrita por Casto (citado por, Demarchi, Perusi, & Piroli, 2012):

$$IEA = \{(P.A. - wp_{<0,25}) / (P.A.)\} * 100 \quad (2);$$

onde: IEA é o índice de estabilidade de agregados (%), P.A. é peso da amostra,  $wp_{<0,25}$  correspondente ao peso dos agregados menores de 0,25mm.

O conteúdo de carbono e matéria orgânica presente no solo foi determinado aplicado o método Yeomans & Bremner (citado por, Lopes do Carmo & Silva, 2012), em amostras de solo coletadas na camada de 0-20cm de profundidades para cada uma das áreas. Este método está baseado na redução do dicromato ( $Cr_2O_7^{2-}$ ) por compostos orgânicos e na subsequente determinação do dicromato, obtido por titulação do excesso de cromo como sulfato amoniacal, segundo Cantarela (citado por, Lopes do Carmo & Silva, 2012).

### 3.3 Índice de qualidade do solo (IQS)

Neste estudo, o modelo de avaliação do índice de qualidade do solo foi o proposto por Karlen & Stott (1994). O sistema é aditivo e usa uma série de funções principais do solo, às quais são atribuídos pesos e são integradas conforme a seguinte expressão:

$$IQS = \sum qWi (wt) \quad (3);$$

em que IQS é o índice de qualidade do solo;  $qWi$ , o valor calculado para as funções principais que compõem o índice; e  $wt$ , um peso numérico atribuído a cada função na composição do índice geral de qualidade.

As funções principais são escolhidas de acordo com o objetivo da avaliação e devem ser acompanhadas de indicadores físicos, químicos e biológicos, relacionados diretamente com sua medida. Os pesos numéricos são atribuídos às funções de acordo com o grau de importância destas para o funcionamento do solo, no desempenho da função para a qual o índice está sendo calculado. Podem ser usados critérios socioeconômicos, necessidades de cultivo, necessidades dos agricultores e preocupações ambientais. O somatório dos pesos de todas as funções principais deve ser 1,0. Esse é o valor do IQS para um solo ideal em relação ao objetivo considerado. Quando o solo apresenta limitações e não tem qualidade, o valor é zero, sendo este o menor valor possível. Após atribuir os pesos relativos para as funções, devem ser identificados e priorizados os indicadores que influenciam cada uma, em diversos graus. Assim como para as funções principais, pesos numéricos devem ser atribuídos para os indicadores, e, quanto maior o nível do indicador, maior sua associação com a função. Da mesma forma, o somatório geral dos pesos dos indicadores em cada nível deve ser 1,0.

Depois de identificadas as funções principais, seus indicadores e respectivos pesos, cujos valores são multiplicados, é necessário normalizar os valores em uma escala única, também entre 0 e 1. O mecanismo utilizado é uma função para padronização de escores, que foi desenvolvida para sistemas de engenharia por Wymore em 1993 (Glover et al., 2000). A função é a seguinte:

$$v = \frac{1}{1 + \left(\frac{B-L}{x-L}\right)^{2S(B+x-2L)}}$$

Em que  $v$  é a pontuação padronizada;  $B$ , o valor crítico ou limite-base do indicador, cujo escore padronizado é 0,5, e que estabelece o limite entre a ruim e a boa qualidade do solo;  $L$ , o valor inicial ou mais baixo que uma propriedade do solo possa expressar, podendo ele ser de 0;  $S$ , a inclinação da tangente à curva no ponto correspondente ao valor crítico do indicador; e  $x$ , o valor da propriedade ou indicador medido no campo.

Para aplicar a equação de Wymore (1993), primeiramente é preciso calcular a inclinação ( $S$ ) da tangente da curva de pontuação no valor crítico do indicador. Expressando  $S$  na equação 2, tem-se:

$$S = \frac{\log\left(\frac{1}{V}\right) - 1}{\log\left(\frac{B-L}{x-L}\right) \times 2(B+x-2.L)}$$

Usando as curvas de padronização de escores, geram-se três funções típicas de padronização: (a) “mais é melhor”, (b) “valor máximo” e (c) “menos é melhor”.

A curva de padronização do tipo “mais é melhor” possui declividade (S) positiva e é utilizada para padronização de indicadores em que os maiores valores melhoram a qualidade do solo, a de “valor máximo” possui inclinação positiva até o valor máximo e é usada para indicadores que apresentam efeito positivo na qualidade do solo até determinado valor, a partir do qual sua influência é detrimental ou negativa. As curvas de padronização do tipo “menos é melhor” possuem declividade negativa e padronizam indicadores.

Para a determinação dos escores serão utilizados dados da literatura que estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Funções principais e indicadores físicos e químicos utilizados na avaliação da qualidade em um Latossolo Amarelo coeso argissólico sob mata natural no ambiente dos Tabuleiros costeiros.

Função principal	Ponderador da função	Indicador de qualidade (*)	Ponderador do indicador	Limite crítico		Referências dos limites críticos
				Inferior	superior	
Crescimento radicular em profundidade (CRP)	0,40	Rp <sub>100kPa</sub> (Mpa)	0,40	2,0	0,3	Taylor et al (1966)
		Mp (m <sup>-3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,30	0,10	.	Carter (2002)
		Ds (kg dm <sup>-3</sup> )	0,10	1,59	.	Souza et al (2003)
		m (%)	0,20	50	.	Lepsch (1983)
Condução e armazenamento de água	0,40	K <sub>0</sub> (cm h <sup>-1</sup> )	0,20	2,0	2,0	Lepsch (1983)
		Mp (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,20	0,10	0,30	Carter (2002)
		U <sub>V33kpa</sub> /PT	0,30	0,55	.	Souza et al (2003)
		AD/PT	0,30	0,125	.	Souza et al (2003)
Suprimento de nutriente (SN)	0,20	pH em água	0,10	5,0	6,5	C. E. F. Solo (1998)
		CTC (cmol, dm <sup>-3</sup> )	0,40	4,0	.	Lepsch (1983)
		V (%)	0,20	50	.	Lepsch (1983)
		MO (g kg <sup>-1</sup> )	0,30	15	.	C. E. F. Solo (1998)

RP<sub>100kPa</sub>: -resistência à penetração a 100kPa de umidade no solo, MP: macroporosidade do solo, Ds: densidade do solo, m: saturação por alumínio, K<sub>0</sub>: condutividade hidráulica do solo saturado, U<sub>V33kpa</sub>/PT:

relação umidade volumétrica retida a 33kPa/ porosidade total,AD/PT: relação água disponível/porosidade total, CTC: capacidade de troca catiônica, V: saturação por bases,MO: matéria orgânica.

#### 4. RESULTADOS PARCIAIS

Na avaliação da qualidade e os atributos físico do solo da Floresta nativa foram tomados como a base de análises das características físicas (Tabela 1), por tratar-se como o ponto de referência e controle, por ser um sistema em equilíbrio e sem intervenção humana, e, além disso, por apresenta a melhor qualidade no sistema, conforme foi mencionado por Brady e Weil (2008).

Os atributos físicos analisados da área experimental foram classificados pelo uso do solo com o período de produção, e também, apresentaram-se os resultados descritivos de cada um dos tributos como são apresentados na Tabela1.

Analisando os coeficientes de variação encontrados para as variáveis físicas dos solos, observou-se de forma geral que as variáveis tiveram baixo coeficiente de variação (Tabela 3), garantindo precisão nos métodos e nos resultados obtidos dos atributos físicos utilizados como critérios de comparação, conforme os critérios de Warrick e Nielsen (1980).

Tabela 3. Análises descritivas dos dados das propriedades físicas dos solos da área de produção de cana-de-açúcar (PC) e de uma floresta nativa (FN)

Uso do solo	Variáveis	Mín.	Média	Máx.	Mediana	D.P.	C.V. (%)
PC	Densidade do Solo ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	1,80	1,80	1,81	1,80	0,00	0,08
	Porosidade Total ( $\text{cm}^3\ \text{cm}^{-3}$ )	0,31	0,32	0,32	0,32	0,00	0,56
	<sup>1</sup> I.E.A. (%)	69,60	72,05	75,40	71,40	2,31	3,20
	<sup>2</sup> A.T.D. ( $\text{g}\ \text{kg}^{-1}$ )	30,00	44,00	68,00	42,00	13,08	29,74
	<sup>3</sup> G. Fl. (%)	58,00	65,94	75,00	64,46	7,99	12,12
	<sup>4</sup> C.O. ( $\text{g}\ \text{kg}^{-1}$ )	13,63	14,45	15,60	14,34	0,76	5,23
	<sup>5</sup> M.O. ( $\text{g}\ \text{kg}^{-1}$ )	23,45	24,86	26,83	24,66	1,30	5,23
	<sup>6</sup> PMA <sub>0,006</sub> ( $\text{cm}^3\ \text{cm}^{-3}$ )	0,02	0,06	0,10	0,06	0,03	54,08
	<sup>7</sup> PMI <sub>1,5</sub> ( $\text{cm}^3\ \text{cm}^{-3}$ )	0,25	0,27	0,29	0,28	0,01	4,91
	<sup>8</sup> Res. Pent. (MPa) – Seca	3,40	4,20	5,07	4,17	607,15	14,55
Res. Pent. (MPa) – Úmido	0,53	2,17	3,05	2,52	1003,18	46,18	
FN	Densidade do Solo ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	1,40	1,40	1,41	1,40	0,00	0,27
	Porosidade Total ( $\text{cm}^3\ \text{cm}^{-3}$ )	0,47	0,47	0,47	0,47	0,00	0,31
	I.E.A. (%)	85,60	87,88	89,60	88,15	1,41	1,61
	A.T.D. ( $\text{g}\ \text{kg}^{-1}$ )	24,20	24,97	26,20	24,50	0,98	3,94
	G. Fl. (%)	88,71	90,14	90,81	90,33	0,76	0,84
	C.O. ( $\text{g}\ \text{kg}^{-1}$ )	25,80	25,80	25,80	25,80	0,00	0,00
	M.O. ( $\text{g}\ \text{kg}^{-1}$ )	44,38	44,38	44,38	44,38	0,00	0,00
	PMA <sub>0,006</sub> ( $\text{cm}^3\ \text{cm}^{-3}$ )	0,07	0,09	0,12	0,08	0,02	19,41
	PMI <sub>1,5</sub> ( $\text{cm}^3\ \text{cm}^{-3}$ )	0,37	0,38	0,39	0,38	0,01	1,57
	Res. Pent. (MPa) – Seca	1,27	2,30	4,23	2,04	1069,47	46,53
Res. Pent. (MPa) – Úmido	0,36	0,66	0,97	0,58	247,75	37,15	

<sup>1</sup>Índice de Estabilidade de Agregados; <sup>2</sup>Argila Total Dispersa; <sup>3</sup>Grau de Flocculação; <sup>4</sup>Carbono Orgânico; <sup>5</sup>Matéria

---

Orgânica, <sup>6</sup>Macroporos (-0,006Mpa); <sup>7</sup>Microporos (1,5MPa); <sup>8</sup>Resistência à penetração.

Na Tabela 4 estão apresentadas as ponderações dos atributos físico das funções de capacidade de armazenamento de água e de suporta radicular, utilizadas para a determinação dos índices de qualidade física dos solos através do modelo aditivo.

Entre os atributos físicos que apresentaram a melhor resposta quanto ao coeficiente de variação foi a densidade do solo e a porosidade total (determinada a partir da densidade da partícula e a densidade do solo), pois apresentaram coeficiente de variação inferiores de 1%, comportamento também presenciado por Ceddia et al. 2008 e considerados de baixa variação.

Tabela 4. Ponderação das funções principais e dos indicadores de qualidade

Função Principal	Ponderado da função	Indicadores de Qualidade	Ponderado do indicador
Capacidade de armazenamento e retenção de água	0,5	Porosidade Total	0,3
		Macroporos (0,006MPa)	0,3
		Microporos (-1,5MPa)	0,1
		Materia orgânica	0,2
		Índice de Estabilidade de agregados	0,1
Suporte radicular	0,5	Densidade do solo	0,30
		Argila Total Dispersa	0,15
		Grau de Flocculação	0,15
		Carbono orgânico	0,20
		Resistencia à penetração – seca	0,10
		Resistencia à penetração – úmida	0,10

As normalizações dos indicadores foram padronizadas para uma única escala, obtendo os escores para cada um dos indicadores de qualidade, na Tabela 5 apresentassem os valores de S, B e L-000,1, com os respectivos escores.

Tabela 5. Normalização dos valores em uma mesma escala e escores ( $v$ ) da função de Wymore, para área de produção de cana-de-açúcar (PC) e floresta nativa (FN)

Variáveis	Parâmetros de ajuste			PC	FN
	S	B	L <sub>-0,001</sub>		
Densidade do Solo	-1,391	1,627	1,402	0,011	1,000
Porosidade Total	2,900	0,386	0,318	0,000	0,956
<sup>1</sup> I.E.A	0,020	79,583	72,050	0,000	0,987
<sup>2</sup> A.T.D	-0,099	36,575	24,967	0,011	1,000
<sup>3</sup> G. Fl	0,015	76,407	65,937	1,97E-17	0,968
<sup>4</sup> C.O	0,060	19,907	14,453	5,90E-11	0,930
<sup>5</sup> M.O	0,035	34,241	24,859	1,69E-11	0,930
<sup>6</sup> P <sub>MA-0,006</sub>	14,000	0,071	0,056	0,000	0,914
<sup>7</sup> P <sub>MI-1,5</sub>	2,600	0,316	0,275	0,000	0,942
<sup>8</sup> Res. Pent. (MPa) – Seca	-3,00E-04	3010,445	2298,698	0,050	1,000
Res. Pent. Úmido	-0,003	1284,272	666,959	2,56E-04	1,000

Os cálculos realizados para a obtenção dos índices de qualidade de cada uma das áreas avaliadas estão apresentados na Tabela 6. Para Melo Filho et al. (2007), os IQF são classificados assim: <0,50 (ruim), entre 0,50 e 0,70 (média), e  $\geq 0,71$  (ótima).

Avaliando o índice de qualidade da área de floresta nativa, observaram-se valores de 0,96, enquadrando-se como um solo de ótima qualidade, ou seja, o solo encontra-se em perfeito equilíbrio.

Para a área cultivada com cana-de-açúcar, observou-se um índice com valor de 0,005 sendo enquadrado na classificação de qualidade como um de índice de qualidade ruim de solo. BORGES et al. (1999), Melo Filho et al. (2007) e Leandro, Silva, e Cardoso (2012), observaram valores de IQF inferiores a 0,46 para áreas de exploração vegetal ativa.

Segundo Silva et al. (2015), e Iarema et al. (2011), áreas agrícola que permaneceram por mais tempo no uso agrícola, apresentam baixa qualidade física, devido aos manejos que os solos têm recebido no tempo.

As alterações nas características e propriedades do solo causadas pelos manejos e as práticas agrícolas utilizadas e o tempo de produção, são ótimos atributos de

avaliação para a qualidade do solo, pois permitem mediar, avaliar, comparar, relacionar e qualificar através de modelos matemáticos estas alterações (LIMA et al., 2007; SILVA et al., 2005).

Vasconcelos et al. (2014), avaliou a qualidade física de diferentes sistemas de produção de cana-de-açúcar, utilizando como testemunha uma área cultivada com cana-de-açúcar em solo com condições naturais da Mata Atlântica e evidenciou que os sistemas cultivados com cana-de-açúcar por prolongado tempo tinham maiores alterações nos atributos físicos do solo, do que a área cultivada na Mata Atlântica.

Tabela 6. Índice de qualidade física (IQF) do solo para a área de produção de cana-de-açúcar (PC) e uma floresta nativa (FN).

Uso do solo	Função Principal	Ponderado (A)	IQ	Ponderado (B)	X (média)	Escores (C)	B x C	Soma (D)	AxD	Índice
PC	Capacidade de Armazenamento de água	0,5	P.T.1	0,30	0,32	5,9E-09	2E-09	3E-06	2E-06	0,005
			PMA.2	0,30	0,06	1E-05	3E-06			
			PMI.3	0,10	0,27	4,5E-07	4E-08			
			M.O.4	0,20	24,86	1,7E-11	3E-12			
			I.E.A.5	0,10	72,05	6,7E-26	7E-27			
			D.S.6	0,30	1,80	0,01	0,003			
			A.T.D.7	0,15	44,00	0,01	0,002			
	Suporte Radicular	0,5	G.FI.8	0,15	65,94	0,00	3E-18	1E-02	0,005	
			C.O.9	0,20	14,45	0,00	1E-11			
			R.P. S.10	0,10	4173,71	0,05	0,005			
			R.P.Ú.11	0,10	2172,41	2,6E-04	3E-05			
FN	Capacidade de Armazenamento de água	0,5	P.T.	0,30	0,4708	0,96	0,287	0,94	0,47	0,96
			PMA.	0,30	0,0879	0,91	0,274			
			PMI.	0,10	0,3809	0,94	0,094			
			M.O.	0,20	44,376	0,93	0,186			
			I.E.A.	0,10	87,883	0,99	0,099			
			D.S.	0,30	1,4024	1,00	0,3			
			A.T.D.	0,15	24,967	1,00	0,15			
	Suporte Radicular	0,5	G.FI.	0,15	90,135	0,97	0,145	0,98	0,491	
			C.O.	0,20	25,8	0,93	0,186			
			R.P. S.	0,10	2298,7	1,00	0,1			
			R.P.Ú.	0,10	666,96	1,00	0,1			

1Porosidade total; 2Macroporosidade; 3Microporosidade; 4Materia orgânica; 5Índice de estabilidade de agregados; 6Densidade do solo; 7Argila total dispersa; 8Grau de flocculação; 9Carbono orgânico; 10Resistencia à penetração via seca; 11Resistencia à penetração via úmida.

A baixa qualidade física dos solos presenciada na área de produção de cana-de-açúcar, não inabilita o uso do solo para a produção de cana-de-açúcar, mas nas condições atuais dos solos e de manejo agrícola reduzem a capacidade de armazenamento de água e de suporte radicular das plantas, limitando o normal desenvolvimento e crescimento da cana-de-açúcar, diminuindo a produções e a

participação nos mercados, e ambientalmente aumentando os problemas de degradação das áreas de produção agrícola, especialmente o recurso solo.

## 5. CONCLUSÕES

1. A área de floresta nativa apresenta ótimo índice de qualidade física do solo;
2. A área de produção de cana-de-açúcar apresenta ruim índice de qualidade física do solo;
3. O uso e manejo do solo agem negativamente na qualidade física do solo.

## 6. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

Atividades	Ano 2015					Ano 2016						
	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J
Revisão Bibliográfica	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Coleta de solo em campo			x	x	x							
Análises laboratoriais						x	x	x	x			
Tabulação dos dados						x	x	x	x			
Elaboração do Relatório parcial							x	x				
Elaboração do Relatório Final									x	x	x	x
Entrega e apresentação do Relatório												x

## 7. BIBLIOGRAFIA

Alves, M. C.; Suzuki, L. G. A. S.; Suzuki, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um latossolo vermelho distrófico em recuperação. Rev. Bras. Ciênc. Solo v.31 n.4 Viçosa jul./ago. 2007

- Borges, A. L.; Kieahl, J. C.; Souza, L. S. Alteração de propriedades físicas e atividade microbiana de um Latossolo Amarelo álico após o cultivo com fruteiras perenes e mandioca. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, p. 1019–1025, 1999.
- Brady, N.C.; Weil, R.R. *The nature and properties of Soils*, ed. 14. Upper Saddle River, NJ: Pearson-Prentice Hall, 2008. 990 p.
- Castro, P. R. C.; Kluger, R. A. (Ed.). *Ecofisiologia de culturas extrativistas: cana-de-açúcar, seringueira, coqueiro, dendenzeiro e oliveira*. Cosmópolis: Stoller do Brasil. 2001. 138 p.
- Ceddia, G. M. S.; Vieira, S. R.; Ceddia, M. B. Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. *Bragantia*, v. 67, p. 203–211, 2008.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, safra 2014/2015. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em agosto de 2014.
- D'Andréa, A. F.; Silva, M. L.; Curi, N.; Ferreira, M. M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos Cerrados no sul do Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 26, p. 1047- 1054. 2002.
- Dana, J. D. *Manual de Mineralogia* revisado por C.S. Hurlbut Jr. Trad. R. R. FRANCO; Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1976. 667p.
- FAOSTAT. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>> Acesso em: 26 janeiro 2016.
- Fernandes, J. M. F.; Vasconcelos, A. L. S.; Souza, L. S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um latossolo amarelo coeso dos tabuleiros costeiros, sob floresta natural. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1599-1608, 2007
- Ferreira, M. M.; Fernandes, B.; Curi, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos da região sudeste do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:515-524, 1999
- Figueiredo, P. Breve história da cana-de-açúcar e o papel do Instituto Agrônomo no seu estabelecimento no Brasil. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. De; Andrade Landell, M. G. de. *Cana-de-açúcar*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 31-45.
- Freyre, G. *Nordeste: Aspectos Da Influência Da Cana Sobre A Vida E A Paisagem Do Nordeste Do Brasil*. 7º Edição, Global Editora, São Paulo 2004.

- Grugiki, M. A. Godinho, T. O.; Vieira, M. V. M.; Santos, C. L.; Passos, R. R.; Rangel, O. J. P. Argila Dispersa Em Água E Grau De Floculação De Um Argissolo Vermelho Amarelo Sob Diferentes Coberturas Vegetais. XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba
- Iarema, A. A.; Eduardo, L.; Fonte, F.; Bragança, R.; Fernandes, A. Qualidade física e química do solo em áreas de exploração florestal no Mato Grosso. *Revista Árvore*, v. 35, p. 737–744, 2011.
- Karlen, D.L. & Stott, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bzedicek, D.F. & Stewart, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.53-72. (Special Publication, 35)
- Leandro, M.; Silva, N.; Cardoso, E. L. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, p. 417–428, 2012.
- Lima, H. V.; Oliveira, T. S.; Oliveira, M. M.; Mendonça, E. S.; Ferreira Lima, P. J. B. Indicadores de qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional no Semiárido Cearense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.1085- 1098, 2007.
- Magalhães, J. R. O açúcar nas ilhas portuguesas do atlântico século XV e XVI. *Varia Historia*, Belo Horizonte, vol. 25, n. 41, p.151-175, 2009.
- MAPA. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>> Acesso em 14 março 2016.
- Prado, R. M.; Centurion, J. F. Alterações Na Cor E No Grau De Floculação De Um Latossolo Vermelho-Escuro Sob Cultivo Contínuo De Cana-De-Açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Informação Tecnológica *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n. 1, p. 197-203, 2001.
- Reichert, J.M.; Mentges, M.I.; Da Rosa, P.D.; Vieira, D.A.; Da Rosa, V.T.; Reinert, D.J. Compactação Do Solo Em Sistemas Agropecuários E Florestais: Identificação, Efeitos, Limites Críticos E Mitigação. *Tópicos Ci. Solo*, 5:49-134, 2007
- Silva Junior, C. A.; Carvalho, L.; Centurion, J.; Oliveira, E. Comportamento da cana-de-açúcar em duas safras e atributos físicos do solo, Sob Diferentes Tipos De Preparo. *Biosci. J.*, Uberlândia, v. 29, Supplement 1, p. 1489-1500, Nov. 2013

- Silva, G. F.; Santos, D.; Silva, A. P.; Souza, J. M. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste paraibano. *Revista Caatinga*, v. 28, p. 25-35, 2015.
- Silva, R. R.; Silva, M. L. N.; Ferreira, M. M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob Sistemas de manejo na bacia do alto do Rio Grande – MG. *Ciência Agrotécnica*, v.29, p.719-730, 2005.
- SINDACUCAR. Disponível em: <<http://www.sindacucar.com.br/cana.php>> Acesso em: 28 janeiro 2016.
- Stefanoski, D.C.; Santos, G. G.; Marchão, R. L.; Petter, F. A.; Pacheco, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* vol.17 no.12 Campina Grande Dec. 2013
- Torres, J. L. R.; Souza, Z. M. De; Pereira, M. G.; Renato Lara De Assis. Atributos indicadores da qualidade do solo numa área sob plantio direto há doze anos. *Comunicata Scientiae*, v. 6, n. August, p. 123–133, 2015.
- UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO - UNICA. Setor sucroenergético. Disponível em: < <http://www.unica.com.br>>. Acesso em: 10 jan. 2015.
- Vasconcelos, R. F. B. De; Souza, E. R. De; Cantalice, J. R. B.; Silva, L. S. Qualidade física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, p. 381–386, 2014.
- Vezzani, F.M.; Mielniczuk, J. Uma visão sobre a qualidade do solo. *R. BRAS. CI. Solo*, 33:743-755. 2009
- Warrick, A. W.; Nielsen, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D., ed. *Application of soil physics*, p.319-324, 1980.

## **8. ATIVIDADES RELEVANTES DESENVOLVIDAS PELO BOLSISTA**

Participou da XV jornada de ensino, pesquisa e extensão (JEPEX 2015) com a apresentação dos trabalhos:

- Impacto do cultivo contínuo de cana-de-açúcar sobre o grau de floculação da argila

- Efeitos da compactação do solo no desenvolvimento biométrico da cana-de-açúcar.

## **9. PARECER DO ORIENTADOR**

O bolsista desenvolveu suas atividades de acordo com o cronograma apresentado na proposta original.

---

Pedro Henrique Santos de Oliveira

(Bolsista)

---

Mara Suyane Marques Dantas

(Orientadora)

Recife, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_.