



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

JONATAN LEVI FERREIRA DE MEDEIROS

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO E DO
TEOR DE ÁGUA EM SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR NO
LITORAL SUL POTIGUAR**

**MOSSORÓ – RN
MARÇO DE 2015**

JONATAN LEVI FERREIRA DE MEDEIROS

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO E DO
TEOR DE ÁGUA EM SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR NO
LITORAL SUL POTIGUAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como parte dos requisitos para obtenção do Título de “Mestre em Manejo de Solo e Água”.

Orientador: Prof. D. Sc. Paulo Cesar
Moura da Silva – UFERSA

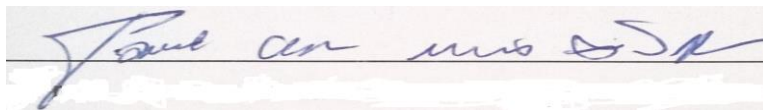
MOSSORÓ-RN
2015

JONATAN LEVI FERREIRA DE MEDEIROS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como parte dos requisitos para obtenção do título de “Mestre em Manejo de Solo e Água”.

APROVADA EM: 23/ 02 / 2015

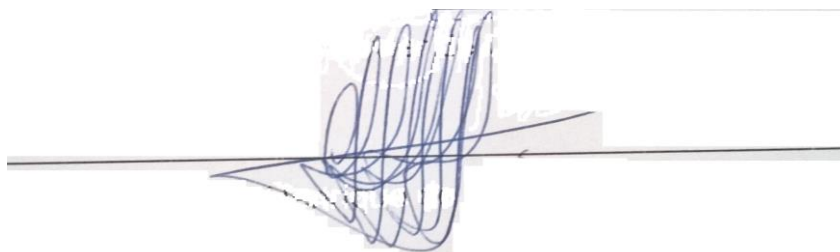
BANCA EXAMINADORA

A handwritten signature in blue ink, reading "Paulo Cesar Moura da Silva", written over a horizontal line.

Profº. D. Sc. Paulo Cesar Moura da Silva (UFERSA)
Presidente

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized, circular flourish, written over a horizontal line.

Profº. D. Sc. Francisco Xavier de Oliveira Filho (UFERSA)
Examinador

A handwritten signature in blue ink, featuring a series of overlapping loops and a long horizontal stroke, written over a horizontal line.

Engº Agrônomo D. Sc. Carlos Henrique de Azevedo Farias (Miriri Alimentos e Bioenergia S/A)
Examinador externo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)

Setor de Informação e Referência

Medeiros, Jonatan Levi Ferreira de.

Variabilidade espacial da resistência à penetração e do teor de água em solo cultivado com cana-de-açúcar no litoral sul potiguar / Jonatan Levi Ferreira de Medeiros. - Mossoró, 2015.

62f. il.

1. Solos. 2. Cana-de-açúcar. 3. Penetração-solo. 4. Umidade-solo.
5. Mapeamento. I. Título

RN/UFERSA/BOT/337

CDD 631.4 M488v

“Aos meus pais, Paulo Evangelista de Medeiros e Elza Maria Ferreira de Medeiros, pela confiança, apoio, orientação e amor, especialmente nas horas que mais precisei. Ao meu avô, Dionízio Ferreira, pela convivência no campo, as histórias, ensinamentos e orações. Aos meus irmãos, João Paulo, Joatan David e Mariana das Neves, por todo carinho e apoio ofertados.”

AGRADECIMENTOS

Ao criador da vida, por ter feito sua obra tão perfeita e magnífica. Aos meus familiares e amigos pelo apoio constante e incentivo.

As pessoas que lutam pelo bem da natureza, que valorizam o amor ao próximo e são bons exemplos para a sociedade.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao programa de pós-graduação Manejo de Solo e Água pela oportunidade de realizar o mestrado.

Ao Conselho de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de pesquisa durante o curso de pós-graduação.

Ao Grupo Farias especificamente a equipe da Usina Vale Verde, pela concessão da área e equipamentos para a realização do trabalho.

Ao Prof.º D. Sc. Paulo César Moura da Silva pela orientação, incentivo, profissionalismo e dedicação.

Ao Prof.º D. Sc. Neyton de Oliveira Miranda pelo co-orientação apoio, incentivo e orientação em toda caminha.

Aos professores Xavier de Oliveira, José Espínola, Jeane Portela, Maria Auxiliadora e aos demais, que participaram do meu desenvolvimento como pessoa e como profissional.

Aos colaboradores; D. Sc. Alenxandre Acioli, Jacinto Filho, Carlos André, Lucrécio da Silva, Luiz Anastácio, José Maria da Costa, Thiago Kenedy, Ravier Valcacer, Rauny Oliveira, Maria Alice, Eduardo Castro, Mariana Samira, Thiago Augusto, Suzany Moreira e as demais pessoas que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização do trabalho.

Aos agricultores, que mesmo com as adversidades mantem-se no campo, esforçando-se a cada dia para tirar seu sustento, contribuindo para que o alimento chegue à mesa de todos.

Enfim, agradeço a todos que passaram por minha vida e deixaram além do prazer da companhia o estímulo e a força que tanto precisei para a realização dos meus objetivos.

AGRADECIDO!

RESUMO

MEDEIROS, Jonatan Levi Ferreira de. **Variabilidade espacial da resistência à penetração e do teor de água em solo cultivado com cana-de-açúcar no litoral sul potiguar**. 2015. 62f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo e Água) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2015.

Índices como resistência do solo à penetração (RSP), teor de água e densidade são atributos relevantes ao estudo da degradação física do solo, sobretudo devido à compactação. Assim, este trabalho tem por objetivo identificar, mapear e utilizar critérios para interpretar dados de resistência à penetração e umidade do solo, com vistas ao planejamento de uso, ocupação e manejo em área cultivada com cana-de-açúcar. A coleta dos dados foi procedida em uma malha, onde os pontos foram georeferenciados em 100 x 100 metros dentro dos talhões. No campo, os pontos foram alocados por um receptor GPS, na qual as determinações de RSP e do teor de água no solo foram coletadas em profundidades de até 40 cm, respectivamente com um penetrômetro eletrônico acoplado a um quadriciclo e por meio de sonda TDR. Posteriormente, os dados foram processados utilizando técnicas de geoestatística para interpolação dos dados e elaboração de mapas de isovalores, a partir dos quais foram avaliadas as intensidades de compactação visando futuras decisões de manejo do solo. Os modelos de semivariograma de melhor ajuste foram o esférico para a variável RSP exponencial para o teor de água do solo. As variáveis em estudo apresentaram dependência espacial moderada e alta, essa característica permitiu estimar valores para locais não amostrados minimizando os erros associados à estimativa. Para RSP, o alcance foi adequado a situação da pesquisa, onde o valor mínimo observado, atingiu 183, resultado adequado ao grid amostral das coletas em campo, diferentemente do teor de água no solo que apresentou alcance inferior a 100 metros. Porém o teor de água exerceu pequeno influencia sobre RSP. Nos mapas de isovalores, observou-se que a RSP atingiu níveis críticos ao desenvolvimento da cana-de-açúcar e, por isso, práticas de manejo localizado podem ser aplicadas, principalmente para reduzir o efeito da compactação nas profundidades superiores a 20 cm.

Palavras-chave: *Sacharum spp*; compactação do solo; mapeamento.

ABSTRACT

Soil parameters like penetration resistance (RSP), water content and bulk density are important attributes for studying aspects of soil physical degradation like compaction. In light of this, this work had as objective identifying, mapping and also to use criteria for interpreting data of RSP and soil moisture aiming the planning of soil management practices in areas cropped with sugarcane. Sampling was carried out in a grid whose points at 100x100 meters by referenced from one point to another. Data was taken until 40 cm depth by means of an electronic penetrometer mounted on an *All Terrain Vehicle*, for RSP, and a TDR probe for soil moisture content. Afterwards, geostatistical procedures were used for data interpolation and drawing of contour maps, from which compaction intensity was evaluated aiming at future management decisions. The best model fit the spherical semivariogram were to exponential RSP variable to the soil water content. Moderate to strong spatial dependency of RSP allowed unbiased estimation of values for non sampled locations minimizing estimative errors. For RSP, the range was adequate the situation of the research, where the minimum observed value reached 183, appropriate result to the sample grid of field collections, differently the water content in soil showed range less than 100 meters. Soil water content did not influence directly RSP values. Contour maps showed that RSP is heterogeneous at the field scale and that site specific management practices can be applied, mainly to reduce the effect of compression depths greater than 20 cm.

Keywords: *Sacharum spp*; soil compaction; spatial variability; mapping

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização dos talhões amostrados em Baía Formosa-RN, Fazenda Casqueira, 2014.	13
Tabela 2 - Características físicas do solo da área estudada em Baía Formosa – RN. Fazenda Casqueira, 2012.....	15
Tabela 03 – Critérios utilizados para a avaliação do mapa de RSP no desenvolvimento da cana-de-açúcar na camada de 20 – 30 cm, com base no valor médio de água. Adaptada de de Ribeiro (2010).....	16
Tabela 4 - Estatística descritiva de dados de umidade do solo (%), resistência do solo à penetração em cada camada (MPa) e profundidade de ocorrência da máxima resistência à penetração (cm).....	21
Tabela 5 - Correlações de Spearman entre valores de umidade do solo e resistência do solo à penetração em cada camada analisada em Baía Formosa – RN. Fazenda Casqueira, 2015.....	22
Tabela 6 - Resultados da estatística espacial para a variável de RMSP nas camadas de 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30 e 30 – 40 cm.....	23
Tabela 7 – Critérios utilizados para a avaliação do mapa de RSP no desenvolvimento da cana-de-açúcar na camada de 0 – 10 cm, adaptada de Ribeiro (2010).....	25
Tabela 8 – Critérios utilizados para a avaliação do mapa de RSP no desenvolvimento da cana-de-açúcar na camada de 10 – 20 cm, adaptada de Ribeiro (2010).....	26
Tabela 9 – Critérios utilizados para a avaliação do mapa de RSP no desenvolvimento da cana-de-açúcar na camada de 20 – 30 cm, adaptada de Ribeiro (2010).....	28
Tabela 10 – Critérios utilizados para a avaliação do mapa de RSP no desenvolvimento da cana-de-açúcar na camada de 30 – 40 cm, adaptada de Ribeiro (2010).....	29
Tabela 11 – Características físicas do solo da área estudada em Baía Formosa – RN. Fazenda Casqueira, 2012.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do município de Baía Formosa – RN, Brasil, 2012.....	12
Figura 2 - Distribuição amostral dos 342 pontos coletados na Fazenda Casqueira em Baía Formosa – RN, 2014.	14
Figura 3 - Equipamentos acoplados ao quadriciclo – a) SOLO STAR PLG5500 - b) GPS de navegação, Garmin modelo 76 Csx - c) haste de ponteira cônica número.....	16
Figura 4 - Determinação do teor de água no solo. a) TDR PR2 com sensor de 40 cm inserido no solo. b) Trado utilizado para perfurar o solo na profundidade desejada.....	18
Figura 5 - Mapas de isovalores na profundidade de 0 – 10 cm. a) Mapa da Resistência do Solo à Penetração e b) Mapa do teor de água no solo. Fazenda Casqueira em Baía Formosa – RN, 2015.	24
Figura 6 - Mapas de isovalores na profundidade de 10 – 20 cm. a) Mapa da Resistência do Solo à Penetração e b) Mapa do teor de água no solo. Fazenda Casqueira em Baía Formosa – RN, 2015.	26
Figura 7 - Mapas de isovalores na profundidade de 20 – 30 cm. a) Mapa da Resistência do Solo à Penetração e b) Mapa do teor de água no solo. Fazenda Casqueira em Baía Formosa – RN, 2015.	27
Figura 8 - Mapas de isovalores na profundidade de 30 – 40 cm. a) Mapa da Resistência do Solo à Penetração e b) Mapa do teor de água no solo. Fazenda Casqueira em Baía Formosa – RN, 2015.	29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Geral	3
2.2 Específicos	3
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1 Cana-de-açúcar	4
3.2. Uso da mecanização e compactação do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar.	6
3.3. Resistência do solo à penetração e medidas auxiliares da compactação.	8
3.4. Distribuição espacial e geoestatística	9
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
4.1. Local	12
4.2 Distribuições dos pontos na área	12
4.4 Levantamentos e análises dos dados de resistência do solo à penetração (RSP).....	15
4.5 Teor de água no solo, calibração do TDR e análises dos dados	17
4.6 Estatísticas descritiva	18
4.7 Estatística espacial (geoestatística) e mapeamento da RSP e do teor de água no solo	18
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
5.1 Estatística descritiva	20
5.2 Estatística espacial (geoestatística)	22
5.3 Mapeamento da RSP e do teor de água no solo na camada de 0 – 10 cm	24
5.5 Mapeamento da RSP e do teor de água no solo na camada de 20 – 30 cm	27
5.6 Mapeamento da RSP e do teor de água no solo na camada de 30 – 40 cm.	28
5.7 Considerações e recomendações	30
6. CONCLUSÕES.....	32
REFERÊNCIAS.....	33
APÊNDICE.....	42

1. INTRODUÇÃO

No território brasileiro a cana-de-açúcar está consolidada há aproximadamente 480 anos e desde então possui grande importância econômica ocupando uma vasta extensão territorial. Atualmente seu cultivo abrange área superior a nove milhões de hectares. Dois fatores foram fundamentais a expansão dessa cultura no país, primeiro a adaptação climática (no ano de 1650 o Brasil já liderava a produção mundial de açúcar) e segundo a crise do petróleo em meados da década de 1970, que tornou intensa a produção de etanol proveniente da cana-de-açúcar (Mozambani et al., 2006).

No Rio Grande do Norte a cultura possui grande expressão econômica, gerando empregos diretos e indiretos em diversos seguimentos. A zona da mata potiguar é a área de produção mais favorável, isso porque a região apresenta bons índices pluviométricos, topografia geralmente plana e boa profundidade do solo. No entanto, o grande número de operações mecanizadas, necessárias para a produção de cana-de-açúcar, faz com que, ao longo dos anos, a cultura seja afetada pela degradação física do solo, pois as pressões exercidas reduzem o espaço poroso do solo, causando compactação tanto na superfície como em profundidade.

Os principais efeitos em operações de preparo do solo são causados pelo uso da grade pesada e tratores de grande porte, principalmente em operação de subsolagem por ocasião da renovação do canavial e no processo de colheita mecanizada. O uso intensivo da mecanização ocasiona uma redução nos espaços porosos do solo, esse efeito ocorre nos principais sistemas de manejo adotados, principalmente em solos dos Tabuleiros Costeiros, onde alguns apresentam caráter coeso. Para tal, a fim de adequar o manejo, propriedades físicas de fácil mensuração, como a densidade, teor de água e a resistência do solo à penetração, podem ser utilizados para avaliar o estado mecânico do solo, visando o seu uso, manejo e planejamento sustentável na mecanização agrícola.

A resistência do solo à penetração (RSP) é o principal índice relacionado ao crescimento das plantas face à compactação. Sendo influenciada por vários fatores, principalmente, a densidade e a umidade do solo (Klein & Libardi, 2002). Sua determinação é realizada por meio de penetrômetro que mede a resistência exercida pelo solo à penetração de uma haste com ponta cônica (Almeida et al., 2012; Molin et al., 2012). Entretanto, o manejo tradicional nas áreas cultivadas não tem considerado a variabilidade espacial da RSP, de maneira que as áreas agrícolas são manejadas como se a compactação se distribuisse de forma homogênea por todo o campo.

O estudo da distribuição espacial por meio da geoestatística possibilita resultados estruturados na variabilidade natural dos atributos avaliados, principalmente quando a dependência espacial está dentro do intervalo da amostragem (Machado et al., 2007). Essa análise auxilia a interpretação das variáveis regionalizadas de fatores ambientais, especialmente os atributos do solo, possibilitando um melhor conhecimento do campo de produção e permitindo a tomada de decisões com maior capacidade e flexibilidade para um manejo preciso da cultura de interesse (Corá et al., 2004). Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo identificar, mapear e utilizar critérios para interpretar dados de resistência à penetração e teor de água do solo visando planejar práticas de manejo em área de cultivo de cana-de-açúcar no litoral sul do Rio Grande do Norte.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Identificar e mapear, utilizando critérios geoestatísticos; focos, sinais e sintomas de problemas, no solo, quanto a sua resistência à penetração e teor de água. Visando as melhores práticas de manejo para o cultivo de cana-de-açúcar no litoral sul do Rio Grande do Norte.

2.2 Específicos

- a) Aferir a resistência do solo à penetração correlacionada com o teor de água no solo.
- b) Transformar os dados coletados em mapas de isovalores por meio da geoestatística.
- c) Identificar as áreas críticas de RSP e direcionar o manejo do solo nas camadas entre 0 – 40 cm.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cana-de-açúcar

A comunidade científica aponta a Nova Guiné como berço geográfico da cana-de-açúcar. Fatos históricos comprovam seu surgimento há aproximadamente 12 mil anos. No globo, sua expansão começou a ser difundida significativamente no sul da Ásia, onde era consumida inicialmente sob a forma de xarope. A partir de então, seu cultivo passou a ser disseminado para todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo. No século XVI, portugueses e espanhóis a difundiram pelo continente Americano, um grande feito, pois futuramente as maiores plantações do mundo se concentrariam nesse continente, o qual ofereceu as melhores condições para o desenvolvimento da cana-de-açúcar (Mozambini et al., 2006).

A cana-de-açúcar é uma espécie típica de climas tropicais e semitropicais e pertence à classe Liliopsida, subclasse Commelinidae, ordem Cyperales, família Poaceae, tribo Andropogoneae e subtribo Saccharinineae (Castro & Kluge, 2001). Ela foi descrita por Linneu em 1753, quando foram classificadas as espécies *Saccharum officinarum* e *Saccharum spicatum*, depois novos tipos foram incluídos. Além das duas descritas, também se enquadram a *Saccharum spontaneum*, *S. sinensis*, *S. barberi* e *S. robustum* (Cronquist, 1981), ou seja, existem seis espécies básicas.

Economicamente, a espécie *S. officinarum* (L.) foi a mais difundida no mundo, porém suas cultivares passaram a sofrer dificuldades de adaptação ecológica e severos danos provocados por doenças. Conforme Matsuoka et al. (1999), híbridos interespecíficos oriundos de programas de melhoramento genético atribuíram resistências e melhor adaptação da cana-de-açúcar ao ambiente. Assim sendo, é incorreto referir-se a cana-de-açúcar como sendo da espécie *Saccharum officinarum* L., pois centenas de variedades híbridas já foram desenvolvidas (Stevenson, 1965).

Fisiologicamente, a cana-de-açúcar desenvolve-se formando touceiras e possui ciclo de 5 a 7 anos. Ela se enquadra como uma planta C4, sendo adaptada a condições de alta intensidade luminosa, altas temperaturas e elevada demanda hídrica – necessidade anual de água em torno de 1.500 a 2.500 mm (Doorenbos & Kassam, 1994). Sua parte aérea é composta por colmos, folhas, inflorescências e frutos e a subterrânea é formada por rizomas e raízes fasciculadas (Camargo et al., 2010; Kirubakaran et al., 2013).

Os rizomas possuem nódios, internódios e gemas, as quais são responsáveis pela

formação dos perfilhos na touceira; característica que aumenta o ciclo produtivo da cultura, tornando o sistema radicular mais expansivo no perfil do solo (Mozambini et al., 2006). Segundo Camargo et al. (2010), 60% das raízes localizam-se nos primeiros 50 cm de profundidade, enquanto que Gonçalves (2006) afirmam que 62% das raízes encontram-se de 0 a 20 cm e 70 a 80% localizam-se na camada de 40 a 45 cm de profundidade. Outra característica é que a cana-de-açúcar renova anualmente seu sistema radicular, deixando em média 11,2 t ha⁻¹ de matéria orgânica no solo (Gonçalves, 2006).

No território brasileiro a cana-de-açúcar está consolidada há aproximadamente 480 anos, e desde então é uma das principais geradoras de renda do setor agrícola. Seu cultivo ocupa uma vasta extensão territorial, emprega milhares de pessoas, movimentando consideravelmente a economia e a paisagem das regiões produtoras. Segundo Baldasi et al. (1996), em 1650 o Brasil já liderava a produção mundial de açúcar. Em meados da década de 1970, em virtude da crise do petróleo, o país intensificou a produção de etanol proveniente da cana-de-açúcar para a utilização direta em motores a explosão ou em mistura com gasolina (Mozambani et al., 2006).

No Brasil, pela grande extensão do seu território, encontram-se as mais variadas condições climáticas para a lavoura canavieira. Possuindo duas estações diferentes e distintas durante o ano, o Brasil é possivelmente o único país no mundo com duas colheitas anuais: uma do Norte-Nordeste, que começa em setembro e continua até abril, e a outra Região Centro-Sul que vai de junho a dezembro (Barbieri & Villa Nova, 1977).

Em levantamentos realizados pela Companhia Nacional Abastecimento (CONAB) em agosto de 2014, a área destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2014/15 será em torno de 9.098.030 hectares (uma área quase equivalente a duas vezes o Estado do Rio Grande do Norte). Apesar do aumento de 286,6 mil hectares na área estimada para a temporada, o setor sucroalcooleiro brasileiro passa por uma severa crise, sobretudo por causa de questões ambientais de déficit hídrico. Esse crescimento foi alavancado por um aumento de 318,5 mil hectares cultivados na Região Centro-Sul, o que compensou o decréscimo de 331,9 mil hectares na área da Região Norte/Nordeste (CONAB, 2014).

No Rio Grande do Norte o cultivo da cana-de-açúcar é de aproximadamente 53.000 hectares, uma área pequena se comparada aos outros estados produtores (CONAB, 2014). Essa pequena expressão está relacionada à área limitada de produção.

No estado, com o uso de irrigação complementar, a região da zona da mata é a área de produção favorável ao cultivo da cana-de-açúcar, pois apresenta bons índices pluviométricos (acima de 1.000 mm), topografia geralmente plana e boa profundidade do solo (Oliveira Filho, 2014).

3.2. Uso da mecanização e compactação do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar.

A compactação pode ser entendida como o ato ou ação de forçar a aproximação das partículas do solo, reduzindo o volume por elas ocupado. O aumento da densidade do solo ocorre de forma natural, quando há eluviação de argilas para as camadas mais profundas, causando o adensamento (Dienardin et al., 2001). Além disso, o solo quando submetido a pressões acaba reorganizando as partículas de modo mais compacto, desestruturando os agregados e reduzindo a porosidade total (Gupta & Allmaras, 1987).

O volume total de um solo é formado pelo volume de partículas minerais e por poros entre as partículas (Chancellor, 1977). Um solo é considerado compactado quando a proporção de macroporos em relação à porosidade total é inadequada para o eficiente desenvolvimento da planta. O solo ideal é aquele que tem a porosidade total de 50%, sendo um terço, cerca de 17%, de macroporos ocupados pelo ar do solo, e dois terços, cerca de 33%, de microporos responsáveis pela retenção de água (Kiehl, 1979). Segundo Lima et al. (2013), a redução no volume de macroporos do solo pode ser maior que 50% em condições de colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

Estudos servem para demonstrar que o processo de compactação do solo tem diferentes classes do solo apresentam comportamentos distintos quando submetidos ao processo de compactação, devido a vários fatores, tais como: energia de compactação, textura teor de matéria orgânica, umidade (Dias Junior, 1996).

A ocorrência da compactação é tida como desfavorável para o sistema de produção vegetal e afeta o desenvolvimento da planta, pois interfere na absorção de nutrientes, de água, na aeração das raízes e consequentemente no crescimento e produtividade das culturas, uma vez que aumenta a capacidade do solo em resistir à penetração das raízes (Lima et al., 2009).

As consequências disso para o movimento de água, ar e raízes no solo podem, segundo Lima et al (2013), comprometer a sustentabilidade da atividade agrícola, prejudicando o desenvolvimento do sistema radicular devido ao aumento de densidade e resistência do solo, diminuição da macroporosidade e condutividade hidráulica. Isso

ocorre nos principais sistemas de manejo adotados, principalmente em solos dos Tabuleiros Costeiros, alguns dos quais apresentam caráter coeso, quando comparados com a mata nativa, sendo esse efeito mais acentuado nas áreas sob irrigação (Vasconcelos et al., 2014). Os solos dos tabuleiros costeiros ocupam, na região Nordeste, uma área estimada de 10.000.000 ha, o que corresponde a aproximadamente 16 % da área total dos estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará (Souza et al., 2001). Essas áreas são de grande importância socioeconômica, devido à proximidade dos grandes centros urbanos, sendo utilizadas com a cultura da cana-de-açúcar ou dedicadas à produção de alimentos (Lima Neto et al., 2009). Esses solos são derivados de sedimentos da Formação Barreiras e têm como característica peculiar horizontes minerais subsuperficiais, que apresentam consistência friável quando úmidos; contudo, quando secos, apresentam consistência dura, muito dura ou extremamente dura, exibindo forte coesão (Ribeiro, 2001; Silva & Carvalho, 2007).

O grande número de operações mecanizadas necessárias para a produção de algumas culturas faz com que, ao longo dos anos, seu rendimento produtivo seja afetado em virtude da degradação física do solo (Lima et al., 2013). No caso da cultura da cana-de-açúcar, devido ao alto nível de mecanização, a compactação do solo tem prejudicado a produtividade (Yang, 1977).

O uso intensivo de terras agricultáveis para produzir alimentos e bioenergia e a modernização da agricultura, que usa máquinas cada vez mais pesadas, tem acelerado o processo de degradação do solo, ou seja, a compactação do solo é intensificada com a modernização da agricultura (Reichert et al., 2007). As máquinas agrícolas produzem tensões na interface solo/pneu e solo/implemento; essas interações compactam as diferentes camadas do solo, alterando a resistência interna e consequentemente as propriedades físicas do solo (Ecco et al., 2007).

O tráfego de veículos e máquinas agrícolas, geralmente muito pesados e o preparo intensivo do solo, contribuem para a formação de camadas compactadas, na tentativa dos produtores de conciliar o período de plantio, as condições climáticas e o cumprimento de contratos agrícolas (Castro Neto et al., 1999). Quando o tráfego ocorre em determinada condição de umidade, a capacidade de suporte do solo pode ser superada, promovendo a deformação plástica e o aumento do estado de compactação do solo (Reinart, 1990; Hakansson & Voorhess, 1998).

Nas áreas canavieiras a compactação do solo é intensificada pelo tráfego de máquinas agrícolas em operações de cultivo e de caminhões, que chegam a transportar 26 000 kg durante a colheita de cana. Em operações de preparo do solo os principais efeitos são devidos ao uso da grade pesada e por tratores de grande porte na operação de subsolagem por ocasião da renovação do canavial, a qual se tornou uma operação de rotina, agravando, conseqüentemente, a compactação do solo, além de aumentar o custo da produção (Silva & Cabeda, 2006).

Implementos de preparo como arado de aiveca e grade de disco, compactam o solo abaixo da sua profundidade de trabalho formando uma camada compactada abaixo da camada arável, chamado pé de grade (Oliveira et al., 2002). Outros implementos de preparo, como escarificadores e subsoladores, não compactam o solo abaixo da camada arável e, por isso, são usados para quebrar a camada compactada removendo o solo com uma compactação mínima, porém, em alguns solos, o efeito da subsolagem é temporário (Rosa, 2009).

3.3. Resistência do solo à penetração e medidas auxiliares da compactação.

A avaliação da qualidade física do solo, visando ao seu uso, manejo e planejamento sustentável da mecanização agrícola, deve ser feita por meio de propriedades físicas do solo de fácil mensuração, como densidade, umidade gravimétrica e resistência à penetração (Vasconcelos et al., 2012). A resistência mecânica do solo à penetração surge como parâmetro de avaliação do efeito do uso intenso de máquinas agrícolas (Marasca et al., 2011).

A resistência do solo à penetração (RSP) estima o impedimento mecânico que o solo oferece às raízes e é um dos atributos físicos mais relacionados ao crescimento das plantas e à compactação, pois afeta o desenvolvimento do sistema radicular (Silva et al., 2008). Segundo Klein & Libardi (2002), a RSP é influenciada por vários fatores, principalmente densidade e umidade do solo. Ela é determinada por meio de penetrômetro, que mede a resistência exercida pelo solo à penetração de uma haste com ponta cônica (Almeida et al., 2012; Molin et al., 2012).

Segundo Torres & Saraiva (1999), o ideal seria que a quantificação da resistência do solo fosse feita por métodos diretos, como o comportamento do próprio sistema radicular, o que seria de difícil aplicação prática, principalmente na cultura de cana-de-açúcar, devido à enorme área cultivada. Esses autores concluíram que os penetrômetros, apesar de suas limitações, ainda são um meio importante para avaliar a

resistência à penetração no solo, sendo o penetrômetro eletrônico o mais indicado para diagnosticar a compactação do solo em grandes propriedades (Assis et al., 2009).

Existe relação estreita entre RSP, densidade do solo, conteúdo de água, teor de argila e teor de matéria orgânica (Imhoff et al., 2001; Ribon & Tavares Filho, 2004). A relação direta da RSP com a densidade do solo é resultado da compactação e degradação da sua estrutura (Busscher et al., 1997); o teor de argila afeta a coesão entre as partículas e a matéria orgânica está relacionada à agregação e à estruturação do solo (Sá & Santos Júnior, 2005).

Além da dependência de fatores intrínsecos do solo (textura, estrutura, mineralogia), a RSP é altamente dependente da umidade do solo (Gomes & Peña, 1996). Segundo Moraes et al. (2012), o teor de água no solo é o fator que mais influencia a medida de resistência mecânica do solo à penetração. Em condição de baixa umidade, a água nos poros do solo se encontra sob maior tensão e se expressam as forças de coesão e de adesão já existentes entre os sólidos do solo, resultando em maior resistência à deformação ou à penetração de raízes (Cunha et al., 2002). Com o aumento do teor de água, diminui a atuação das forças de coesão entre as partículas do solo e o atrito interno, provocando a diminuição da RSP (Assis et al., 2009), indicando um efeito lubrificante da água sobre as partículas do solo (Almeida et al., 2009).

Apesar do valor de 2 MPa ser, geralmente, utilizado como valor de resistência a penetração limitante ao desenvolvimento das culturas em alguns solos (Hakansson et al., 1988; Silva et al., 1994; Tormena et al., 1998; Camargo & Alleoni, 1997) consideram baixos valores de até 2,5 MPa, por apresentarem pouca limitação ao desenvolvimento das raízes, e valores a partir de 5,50 MPa são considerados altos, por representar sérias limitações ao desenvolvimento do sistema radicular. Para a cultura da cana-de-açúcar, Ribeiro (2010) propôs uma classificação dos valores de RSP, seguindo indicações de Torres e Saraiva (1999), Roquete et al. (2003) e Taylor et al. (1966), na qual valores entre 0 a 2 MPa são considerados baixos, sem impedimento ao crescimento de plantas; valores entre 4 e 6 MPa são considerados altos, representando impedimento ao crescimento radicular, enquanto que valores acima de 6 MPa são considerados muito altos.

3.4. Distribuição espacial e geoestatística

Inovar no meio de produção agrícola é uma tendência que sempre foi crescente, principalmente no que se refere aos avanços tecnológicos. A evolução da informática,

tecnologias em geoprocessamento, de sistemas de posicionamento global, a geoestatística, instrumentos e sensores para medir ou detectar índices estão proporcionado à agricultura uma nova forma de controlar a linha de produção, denominada de agricultura de precisão (Haushild, 2013). Em termos econômicos, a utilização desta tecnologia possibilita priorizar investimentos em áreas onde o potencial de produção seja mais efetivo (Antuniassi et al., 2008). Essa transformação é sustentada na era da informação e fundamentada em uma agricultura industrial madura (Davis, 1998).

O estudo da distribuição espacial por meio da geoestatística possibilita resultados fundamentados na variabilidade natural dos atributos avaliados, principalmente quando a dependência espacial está dentro do intervalo da amostragem (Machado et al., 2007). A função espacial numérica e sua variação dependem do local e os valores são relacionados com a posição espacial que ocupam (Faraco et al., 2008). Essa análise da variabilidade espacial auxilia a interpretação localizada dos fatores ambientais, especialmente os atributos do solo, possibilitando um melhor conhecimento do campo de produção e permitindo a tomada de decisões com maior capacidade e flexibilidade para um manejo preciso da cultura de interesse (Corá et al., 2004).

É importante destacar que, a motivação para estudos mais minuciosos da variabilidade das propriedades do solo, revelou limitações das ferramentas estatísticas utilizadas anteriormente para a análise dos dados. Segundo Hamlett et al., (1986), as análises estatísticas “tradicionais”, baseadas na independência das observações, foram substituídas por análises espaciais, as quais consideram o grau de dependência dos pontos amostrados com seus vizinhos. Essas análises consideram a teoria das variáveis regionalizadas, formalizada por Matheron (1963), base da geoestatística.

A geoestatística proporciona técnicas para elaboração de mapas do comportamento de variáveis georeferenciadas, utilizando o método de interpolação de informações a partir de dados obtidos nos locais amostrados e modelados em um semivariograma experimental (Santos, 2010). O desenvolvimento de mapas temáticos para caracterizar os atributos físicos do solo na agricultura surgiu da necessidade em conhecer melhor a propriedade em questão, bem como; desenvolver estratégias que auxiliem o melhor manejo do solo (Batista, 2012).

Estudos têm demonstrado que a variabilidade espacial da densidade do solo, da porosidade do solo, da resistência do solo à penetração e do teor de matéria orgânica não ocorrem ao acaso, mas apresentam correlação ou dependência espacial

(Cambardella et al., 1994; Vieira, 2000; Silva et al., 2004; Souza et al., 2006). Uma vez quantificada, a dependência espacial das propriedades do solo pode ser utilizada para a classificação e para o levantamento de solos em uma área, assim como pode ser usada na interpolação entre observações, permitindo o mapeamento da propriedade do solo dentro da área, por meio da krigagem (Antunes et al., 2012).

A integração de atributos químicos, físicos e biológicos do solo, combinada com as informações dos mapas de produtividade, é possivelmente a alternativa mais completa na investigação da variabilidade espacial das lavouras (Molin, 2002; Santi, 2006).

O desenvolvimento de mapas para caracterizar os atributos físicos do solo é ferramenta imprescindível para uma boa visualização espacial de grandes áreas. Esse recurso facilita o desenvolvimento de estratégias que auxiliem o melhor manejo do solo, respeitando sempre as limitações físicas, o desenvolvimento da cultura e principalmente os gastos relacionados ao uso excessivo de insumos e de mecanização (Campos et al., 2013). A integração de atributos químicos, físicos e biológicos do solo, combinada com as informações dos mapas de produtividade, é possivelmente a alternativa mais completa na investigação da variabilidade espacial das lavouras e do aprimoramento do manejo do solo (Molin, 2002; Santi, 2006).

A identificação, localização e quantificação de sub-regiões no campo de produção são de suma importância para o entendimento do processo de compactação nas camadas de solo considerada crítica para o desenvolvimento vegetal. Tais informações possibilitam determinar a distribuição espacial da compactação do solo em diferentes camadas, de forma georeferenciada, facilitando a organização das informações de compactação do solo através de mapas (Antunes, 2012).

Na identificação das causas da variabilidade sobre a produção em um talhão os mapas devem ser utilizados para estabelecer as razões óbvias dos fatores limitantes da produtividade e constatar os levantamentos dos atributos do solo, como forma de explicar uma variabilidade que no geral não está aparente (Kilpp, 2002). A subdivisão da área cultivada em talhões favorece a organização do manejo e contribui para um maior controle da produção por partes. Em grandes áreas, como é caso dos canaviais, essa organização é fundamental no processamento das informações, o que contribui para o desenvolvimento de uma agricultura de precisão.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local

A pesquisa foi desenvolvida na Usina Vale Verde Empreendimentos Agrícolas LTDA, no município de Baía Formosa-RN, Localizada a 6° 22' 10" de latitude sul e 35° 00' 28" de longitude oeste, com altitude média de 4 m acima do nível do mar (figura 01). Possui de acordo com a classificação climática de Köpper-Geiger é As, ou seja, clima tropical com estação seca. A pluviosidade média anual é de 1.625,2 mm (Oliveira Filho, 2014) com pluviosidade efetiva de aproximadamente de 1.202,65 mm. A coleta de dados aconteceu período de março de 2013 a setembro 2014.

A área estudada (Fazenda Casqueira) possui 1.200 hectares distribuídos em 101 talhões, sendo 82,07% destinados ao cultivo de cana-de-açúcar e a área remanescente é fundamentalmente de reserva legal e transporte.

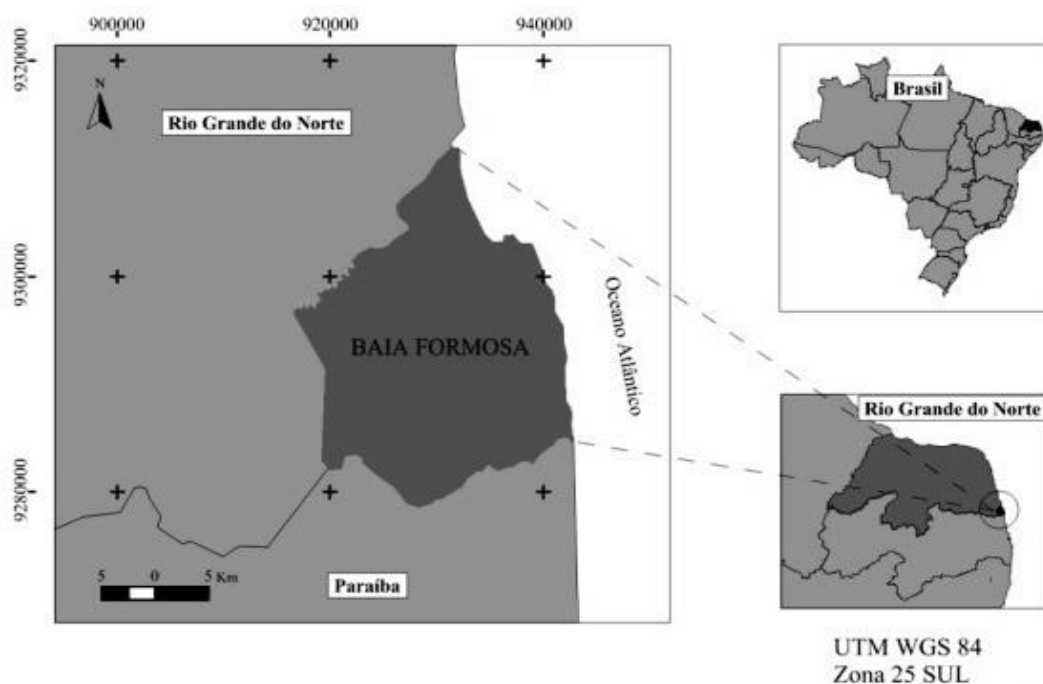


Figura 1 - Localização do município de Baía Formosa – RN, Brasil, 2012.

Fonte: Oliveira Filho, 2014.

4.2 Distribuições dos pontos na área

A área de coleta dos dados é exclusivamente dedicada à produção da cana-de-açúcar, possuindo 386,9 hectares (32,25% da área total) e é dividida em trinta e três talhões. Os dados completos de cada ponto estão apresentados no Apêndice 01.

Tabela 2 - Caracterização dos talhões amostrados na Fazenda Casqueira em Baía Formosa-RN, 2014.

TALHÃO	ÁREA (ha)	TALHÃO	ÁREA (ha)	TALHÃO	ÁREA (ha)
39	7,20	50	10,00	82	19,77
40	8,31	51	10,00	83	15,21
41	8,08	52	10,00	84	15,13
42	10,00	53	10,00	88	15,15
43	10,00	54	5,93	89	15,10
44	10,00	55	9,26	93	15,00
45	10,00	56	12,33	94	15,00
46	10,00	78	10,10	96	15,20
47	10,00	79	8,85	97	15,12
48	10,00	80	15,13	99	10,66
49	10,00	81	15,00	100	12,65

Os pontos amostrais foram espaçados a distância não regular, porém com base em um grid previamente confeccionado com 100 metros de distância entre os pontos dentro dos talhões e na borda do talhão a distância é de 50 metros da estrada (Figura 01). Os dados foram georeferenciados por meio de receptor GPS de navegação (Garmin modelo 76 Csx), com precisão máxima de 7 m, acoplado ao penetrômetro. O sistema de coordenadas foi o UTM segundo o datum WGS84. No total foram coletadas 342 amostras de RSP e 298 de teor de água no solo (Apêndice 01).

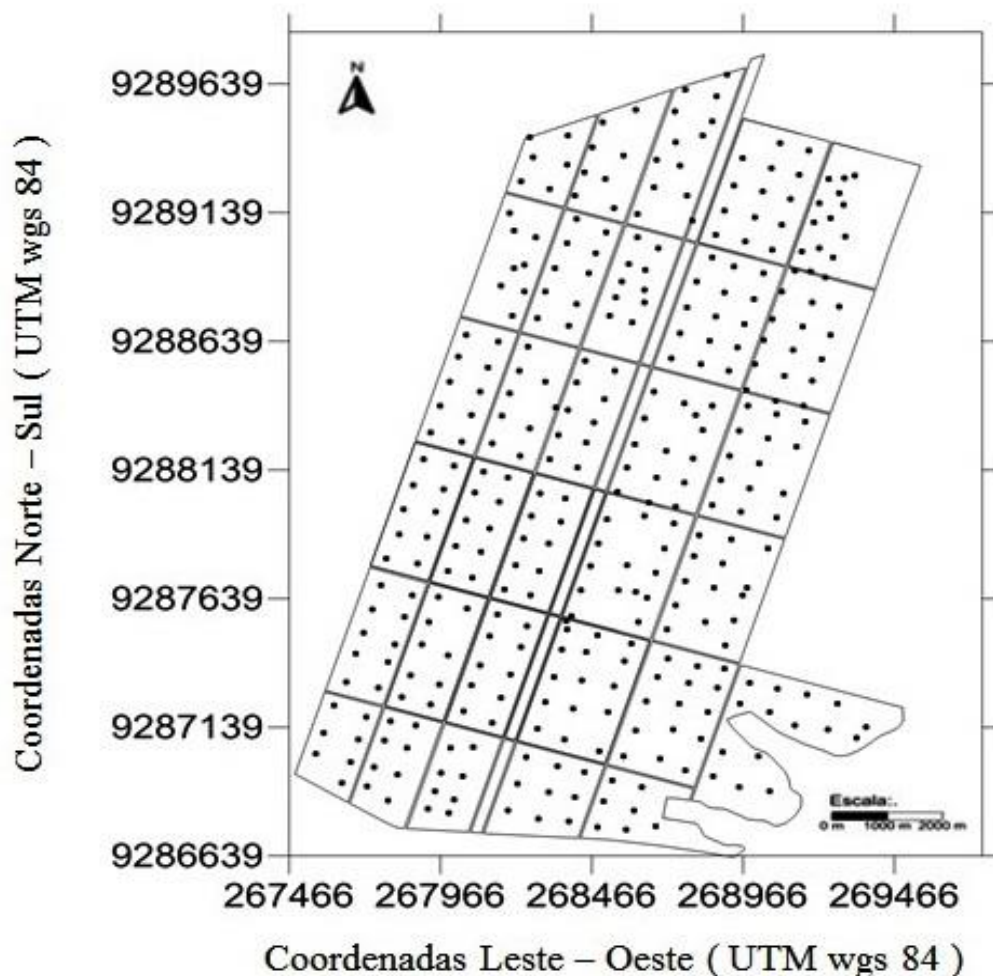


Figura 2 - Distribuição amostral dos 342 pontos coletados na Fazenda Casqueira em Baía Formosa – RN, 2014.

4.3 Características físicas do solo

Na área foram identificados por Hélio do Prado (Instituto Agronômico de Campinas-IAC), solos das classes Argissolo Amarelo, Latossolo Amarelo e Neossolo Quartzarênico. Na região da pesquisa Oliveira Filho, (2014) investigou em 12 talhões as características físicas do solo nas camadas de 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30 e 30 – 40 cm (tabela 2). Esses dados foram utilizados em auxílio a interpretação do estudo.

Tabela 02 – Características físicas do solo da área estudada em Baía Formosa – RN. Fazenda Casqueira, 2012.

Profundidade (cm)	Areia (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	Dp (Mg m ⁻³)	Ds (Mg m ⁻³)
0-10	0,89	0,03	0,07	2,51	1,62
10-20	0,88	0,04	0,07	2,46	1,67
20-30	0,87	0,04	0,09	2,43	1,72
30-40	0,86	0,02	0,12	2,43	1,74
Profundidade (cm)	Ptot (%)	MIC (%)	MAC (%)	CC (%)	PMP (%)
0-10	35,46	23,27	12,19	35,39	4,62
10-20	35,65	23,34	12,31	35,58	4,78
20-30	33,85	21,10	12,76	34,06	4,97
30-40	36,43	19,34	17,09	34,87	7,05

Fonte: Oliveira Filho, 2014.

Dp = densidade de partícula; Ds = densidade do solo; Ptot = porosidade total; MIC = microporosidade; MAC = macroporosidade; CC = capacidade de campo e PMP = ponto de murcha permanente.

4.4 Levantamentos e análises dos dados de resistência do solo à penetração (RSP).

A RSP foi determinada por meio do penetrômetro SoloStar PLG 5500 da Falker, montado em quadriciclo Shineray (Figura 3a). O aparelho, dotado de sistema automático de medição, alimentado por bateria de 12 V, tinha como características: 7,94 mm de diâmetro do cone; 15,1 MPa de índice de cone máximo; 0,02 MPa de resolução; 75 kgf de força máxima suportada na haste de; 3,0 m s⁻¹ de velocidade nominal de inserção; 5 cm de resolução da medida de profundidade; 40 cm de profundidade máxima; memória para 910 leituras; protocolo de comunicação com GPS NMEA 0183. O cone e a haste (Figura 3c) estão em conformidade com norma ASAE S.313.3 (ASAE, 2004). O conjunto dos equipamentos recebeu ainda o receptor GPS (Figura 3b). As variáveis consideradas foram as RSP nas camadas de 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30 e 30 – 40 cm.

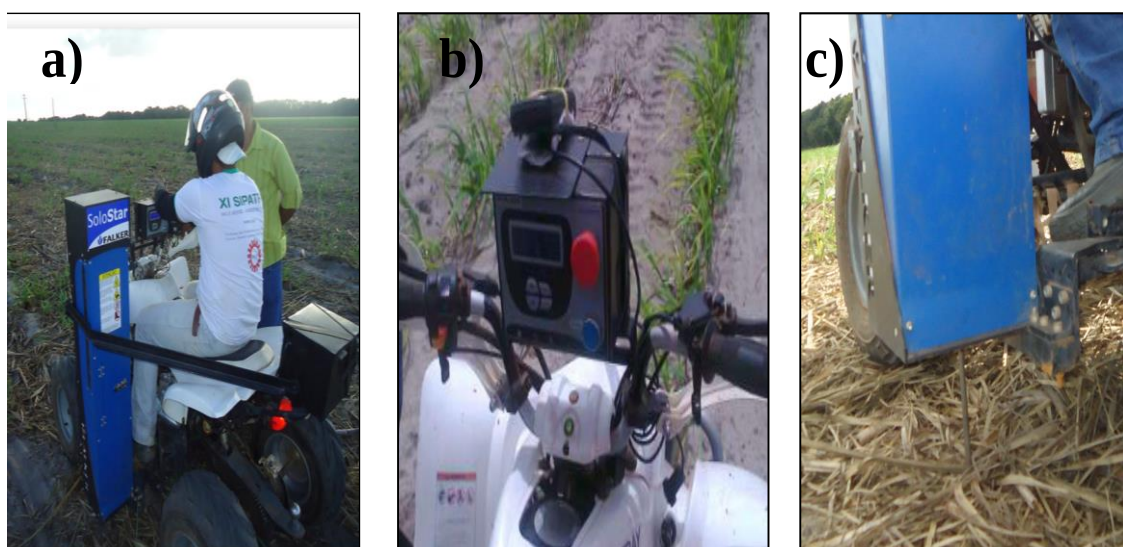


Figura 3 - Equipamentos acoplados ao quadriciclo – a) SOLO STAR PLG5500 - b) GPS de navegação, Garmin modelo 76 Csx - c) haste de ponteira cônica número.

A interpretação dos dados de RSP para o desenvolvimento da cana-de-açúcar foi feita segundo escala utilizada por Ribeiro (2010), para que classifica valores como:

- baixos entre 0 e 2 MPa, sem impedimento ao crescimento de plantas;
- moderados entre 2 e 4 MPa, com pequeno prejuízo ao desenvolvimento radicular;
- altos entre 4 e 6 MP, representando impedimento para o crescimento radicular;
- muito altos, acima de 6 MPa a RSP, desenvolvimento radicular muito pequeno;
- críticos ao desenvolvimento radicular acima de 8 MPa.

Em virtude da característica arenosa do solo, a escala acima de 8 MPa foi inserida (Tabela 03), uma vez que, em solos com textura arenosa, valores superiores a 6,0 MPa são considerado críticos ao crescimento radicular (Sene et al., 1985).

Tabela 03 – Critérios utilizados para a avaliação do mapa de RSP no desenvolvimento da cana-de-açúcar na camada de 20 – 30 cm, com base no valor médio de água. Adaptada de de Ribeiro (2010).

RSP (MPa)	Grau de compactação	Desenvolvimento radicular	Representação nas cores	(%) Área equivalente
0 - 2	Baixo	Sem impedimentos	Verde	-
2 - 4	Moderado	Redução no desenvolvimento	Amarelo	-
4 - 6	Alto	Impedimento	Marrom	-
6 - 8	Muito alto	Pequeno desenvolvimento	Vermelho	-
> 8 MPa	Crítico	Desenvolvimento crítico	Cinza	-

4.5 Teor de água no solo, calibração do TDR e análises dos dados

As medidas do teor de água no solo foram realizadas em conjunto com as leituras de RSP, para tal, um medidor direto do teor de água no solo foi utilizado – o TDR. Esse equipamento mede o tempo necessário para que o impulso eletromagnético se propague através da barra de transmissão enterrada no solo e o grau de dissipação do impulso quando ele colide com o solo. Então o tempo de movimento do impulso está relacionado à constante dielétrica do solo, que é proporcional à quantidade de água.

No procedimento de coleta, um trado tipo caneca foi utilizado para perfurar o perfil do solo em diâmetro compatível com o tubo de acesso (figura 4 b). O tubo foi inserido em conjunto com a sonda TDR PR2 com sensor de 40 cm (Figura 4a), onde as leituras do teor de água no solo foram programadas para opera em milivolt (mV), nas profundidades de 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30 e 30 – 40 cm.

Após as análises em campo, o equipamento foi calibrado por gravimetria ($U = g \cdot g^{-1}$, método considerado padrão) em laboratório. Para tal, colunas com o solo da área foram montadas em canos de PVC e submetidas a três teores de umidade diferentes, foi adicionado a coluna de solo, 200, 400 e 600 ml de água, para cada situação realizou-se leituras com o TDR em mV e pelo método gravimétrico. A diante, os resultados coletados em milivolts (mV) foram transformados em porcentagem, conforme a relação encontrada na curva de calibração, onde o R^2 foi de 0,9153 e a equação foi:

$$y = 6,602 \ln(x) - 30,892 \quad [1]$$

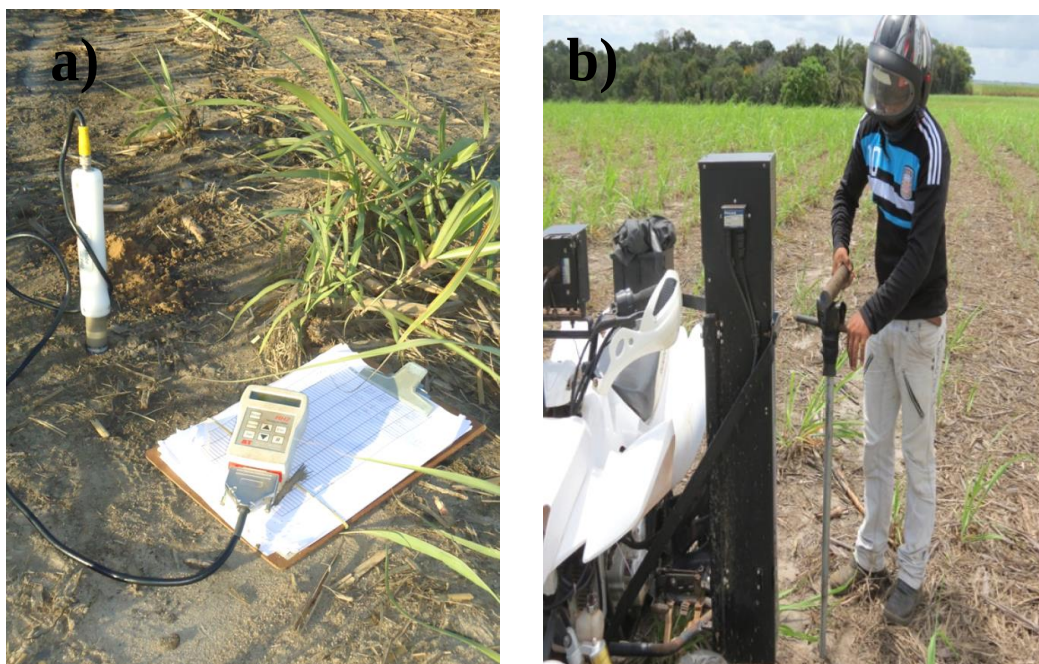


Figura 4 - Determinação do teor de água no solo. a) TDR PR2 com sensor de 40 cm inserido no solo. b) Trado utilizado para perfurar o solo na profundidade desejada.

4.6 Estatísticas descritiva

A análise estatística dos dados de resistência do solo à penetração e de teor de água no solo, nas diferentes camadas, constou das seguintes etapas: o ajuste à distribuição normal foi verificado por meio do Teste Shapiro-Wilk a 5% de probabilidade, onde o comportamento dos dados em termos de posição e dispersão foi analisado por meio da estatística descritiva, tendo sido calculados média, mediana, moda, valores mínimo e máximo, desvio padrão e coeficiente de variação (CV), o qual foi classificado por Warrick (1998), como baixo, se menor do que 15%; médio quando entre 15 e 50% e alto quando maior do que 50%. A influência do teor de água no solo sobre a RSP foi verificada por meio de análise de correlação.

4.7 Estatística espacial (geoestatística) e mapeamento da RSP e do teor de água no solo

A geoestatística foi utilizada para analisar a existência de dependência espacial das variáveis. Para isso, foram elaborados semivariogramas com base nas pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca, nos quais a semivariância ($\gamma(h)$) é estimada pela equação:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N_i(h)} \sum_{j=1}^{N_i(h)} [z(s_i) - z(s_i + h)]^2 \quad [2]$$

em que: $N(h)$ é o número de pares de pontos $z(s_i)$ e $z(s_i + h)$ separados por uma distância h , informando quão diferentes se tornam os valores em função de h (Couto et al., 2000).

Foram testados os seguintes modelos de semivariograma: (a) esférico, $\gamma^*(h) = C_0 + C_1 [1,5(h/a) - 0,5 (h/a)^3]$ para $0 < h < a$ e $\gamma^*(h) = C_0 + C_1$ para $h \geq a$; (b) exponencial, $\gamma^*(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp (-3h/a)]$ para $0 < h < d$, em que d é a distância máxima na qual o semivariograma é definido; (c) gaussiano, $\gamma^*(h) = C_0 + C_1[1 - \exp (-3h^2/a^2)]$ para $0 < h < d$.

O ajuste do modelo matemático para os semivariogramas de cada variável forneceu os parâmetros: Efeito Pepita (C_0), Patamar (C_0+C) e Alcance (A). A relação entre efeito pepita e patamar (Cambardella et al., 1994) foi utilizada para determinar o grau de dependência espacial das variáveis, que é classificado como forte ($< 25 \%$); moderado (26 a 75 %) ou fraca ($> 75 \%$). Ajustaram-se os semivariogramas com base no programa proposto por Robertson (1998), considerando o maior R^2 (coeficiente de determinação) e o menor SQR (soma de quadrados do resíduo).

A estimativa dos valores de RSP e umidade do solo para os locais não amostrados foi realizada por interpolação pelo método de krigagem, também empregada por Santos et al. (2012) e Campos et al. (2013), a qual utiliza as informações de variabilidade espacial e os parâmetros do semivariograma, possibilitando a confecção de mapas de isovalores. Para elaborar os mapas de distribuição espacial das variáveis, foi utilizado um programa apropriado que gera mapas de modelagem dos dados.

A partir da distribuição espacial dos dados, para facilitar o entendimento dos fenômenos, houve a elaboração de mapas em cada profundidade, de forma comparativa, a fim de visualizar melhor do comportamento espacial das variáveis analisadas. O levantamento dos valores de umidade acompanhando as leituras automatizadas de RSP só foi viável com a utilização de um amostrador direto de umidade, o TDR, uma vez que, a área em estudo apresenta grande extensão territorial.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Estatística descritiva

As médias de RSP variaram de forma crescente desde 1,68 MPa, na camada de 0 à 10 cm, até 5,73 MPa entre 30 e 40 cm (Tabela 4). Esse aumento também foi constatado por Pereira et al. (2002) em estudo de compactação em diferentes sistemas de cultivo em ambiente de solos arenosos.

As diferenças entre média e mediana, no caso de RSP, e semelhanças entre elas, no caso da umidade do solo (Tabela 4), dão indicação do ajuste ou não à distribuição normal. Este ajuste não ocorreu para RSP, em nenhuma das profundidades analisadas, conforme o Teste de Shapiro Wilk, enquanto que a umidade do solo somente se ajustou à distribuição normal na camada de 0 a 10 cm. Segundo Cambardella et al. (1994) a ocorrência de distribuições normais ou não normais pode ser atribuída a diversas causas, entre as quais as práticas de manejo e efeitos temporais. O ajuste dos dados à distribuição de frequência normal não influencia a análise geoestatística, a qual se baseia em uma função aleatória contínua (Vieira, 2000; Siqueira et al., 2008; Arzeno et al., 2014).

Em relação ao coeficiente de variação de RSP, conforme a classificação de Warrick (1998), ele somente foi considerado alto na camada de 0 a 10 cm, que é a mais sujeita às operações de manejo. Enquanto isso, o CV das variáveis de umidade do solo (UM) foi em geral baixo e inferior aos CV de RSP em todas as camadas. Esses fatos podem indicar a boa precisão das medidas, além de que, segundo Camargo et al. (2010) se os atributos apresentam alta variabilidade, suas médias podem não ser representativas de toda área, sendo um dos motivos da realização de estudos como este.

Tabela 4 - Estatística descritiva de dados de umidade do solo (%), resistência do solo à penetração em cada camada (MPa) e profundidade de ocorrência da máxima resistência à penetração (cm).

Variável	nº	Média	Mediana	Assimetria	Curtose	CV ³	Clas. do CV	Mínimo	Máximo	Amplitude	p(w) ⁴
UM ¹ ₀₋₁₀	294	5,38D	5,21	-0,14	-0,19	19,25	Médio	2,40	7,93	5,53	0,2900
UM ₁₀₋₂₀	296	6,50C	6,70	-0,26	-0,32	14,04	Baixo	3,89	8,53	4,64	0,0100
UM ₂₀₋₃₀	294	7,40B	7,37	-0,31	-0,25	10,94	Baixo	5,18	9,38	4,20	0,0200
UM ₃₀₋₄₀	291	8,18A	7,95	-0,06	-0,31	9,06	Baixo	6,33	10,08	3,75	0,0400
RSP ² ₀₋₁₀	335	1,68d	1,06	1,65	2,91	66,19	Alto	0,22	6,77	6,55	0,0001
RSP ₁₀₋₂₀	332	3,52c	2,46	1,56	0,62	44,33	Médio	0,63	9,76	9,13	0,0001
RSP ₂₀₋₃₀	330	4,96b	4,88	1,64	2,71	33,22	Médio	1,62	9,89	8,27	0,0001
RSP ₃₀₋₄₀	330	5,73a	5,61	0,43	-0,06	31,27	Médio	1,53	10,91	9,38	0,0003
RSP _{MÁX}	335	6,91	4,93	0,73	0,18	30,92	Médio	2,68	12,74	10,06	0,0001
PROF ³ _{RMÁX}	324	33,85	40,00	-0,96	0,39	18,00	Médio	13,00	40,00	27,00	0,0001

Médias de umidade do solo (UM¹) de cada camada, seguidas de letras maiúsculas diferentes, e de resistência do solo à penetração (RSP²) de cada camada, seguidas de letras minúsculas diferentes, bem como a profundidade que a máxima RSP (PROF_{RMÁX})³, diferem pelo teste T para dados pareados (p<0,01). ³Coefficiente de variação; ⁴Nível de significância do teste de Shapiro Wilk, o qual sendo maior do que 0,05 indica ajuste à distribuição normal.

O coeficiente de correlação de Spearman entre as variáveis de umidade do solo e de RSP foi determinado para cada profundidade. Ele é usado segundo Stenger, Priesack e Beese. (2002) para analisar relações entre dados não ajustados à distribuição normal. A análise de correlação (Tabela 5) indica que a variação dos valores de RSP no campo, nas camadas de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm sofreu uma pequena influência dos valores do teor de água no solo no momento da determinação. Tal fato, vai de encontro com o que afirma Guerra et al. (2000), que constataram alta influência do teor de água no solo na determinação da RSP com penetrômetro eletrônico, fato atribuído por eles ao elevado teor de argila do solo. (Assis et al., 2009; Almeida et al., 2009) também observaram a influência do teor de água na determinação da RSP. A determinação da resistência do solo a penetração associada ao conhecimento do teor de água do solo é fundamental para identificar as condições nas quais ocorre impedimento ao crescimento radicular (Souza et al., 2010).

Tabela 5 - Correlações de Spearman entre valores de umidade do solo e resistência do solo à penetração em cada camada analisada em Baía Formosa – RN. Fazenda Casqueira, 2015.

Camadas	0 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 30 cm	30 - 40 cm
Correlação de Sperman ($p < 0,01$)	0,20*	0,17*	-0,02 ^{NS}	-0,06 ^{NS}

^{NS} não significativo; *significativo a 1% de probabilidade.

5.2 Estatística espacial (geoestatística)

Os ajustes para os modelos e os parâmetros dos semivariogramas das variáveis analisadas estão expostos na Tabela 6, onde é possível observar a predominância do modelo esférico para a variável RSP e exponencial para o teor de água no solo, corroborando com os modelos obtidos por Souza et al. (2004) e Ecco et al. (2012). Segundo Campos et al. (2013), a ocorrência de tais modelos é frequente para atributos do solo, principalmente o esférico para RSP. A representação gráfica dos semivariogramas está exposta no Apêndice 02. A análise espacial como ferramenta para associar valores com sua localização no espaço e tempo é fundamental para planejar ações de manejo relativas à RSP, pois a distribuição continua dos valores amostrados é desejável para estimativa em locais não amostrados (Lima et al., 2010). Segundo Cambardella et al. (1994) a compreensão da distribuição de propriedades do solo em um campo é importante para aplicar práticas de manejo de forma mais localizada e para determinar seus efeitos sobre o ambiente.

Tabela 6 - Resultados da estatística espacial para a variável de RMSP nas camadas de 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30 e 30 – 40 cm.

Profun.(cm)	¹ C ₀	² C ₀ + C	³ a	⁴ [C ₀ /(C ₀ +C)]*100	⁵ Clas. do grau de DE	R ²	Modelo
Resistência do solo à Penetração (MPa)							
0 – 10	0,635	1,271	445	49,96%	Alto	0,985	Esférico
10 – 20	1,57	3,141	389	49,98%	Alto	0,928	Esférico
20 – 30	0,05	3,614	183	1,3%	Baixo	0,833	Esférico
30 – 40	0,010	4,285	185	0,23%	Baixo	0,736	Esférico
Teor de Água no Solo (%)							
0 – 10	0,87	1,741	4452	49,97%	Alto	0,874	Exponencial
10 – 20	0,077	0,825	64	9,33%	Baixo	0,550	Exponencial
20 – 30	0,372	0,745	274	49,93%	Alto	0,950	Exponencial
30 – 40	0,129	0,812	48	15,88%	Baixo	0,180	Exponencial

¹Efeito pepita; ²Patamar; ³Alcance; ⁴ grau de dependência espacial, ⁵Classificação do grau de dependência espacial.

Nos horizontes estudados entre 0 e 40 cm de profundidade, os alcances obtidos para as variáveis de RSP foram respectivamente de 445; 389; 183; 185 m e os valores para o teor de água no solo foram 4452; 64; 274 e 48 m. Tendo em vista que, havendo dependência espacial, o valor de uma variável em um local é correlacionado com os valores de locais próximos, o alcance indica a distância máxima na qual os valores são correlacionados entre si (Corrêa et al., 2009). O valor do alcance também indica a que distância a amostra deve ser coletada para que seus valores possam ser considerados independentes, como é necessário nos procedimentos estatísticos clássicos.

Baseado na classificação de Cambardella et al. (1994), o grau de dependência espacial para as variáveis de RSP foi moderado nas duas primeiras camadas e forte nas posteriores e para o teor de água no solo ele alternou de moderado a forte entre as camadas analisadas.

Segundo Cambardella et al. (1994), a dependência espacial forte de características do solo indica que a variabilidade é controlada por fatores intrínsecos, como textura e mineralogia. Enquanto que, características que apresentam dependência espacial mais fraca tem sua variabilidade controlada por práticas de manejo, como, preparo do solo e aplicação de fertilizantes. Assim, para o entendimento dos processos

que podem ocasionar a compactação, de acordo com o grau de dependência espacial, temos nas camadas de 0 – 20 cm em RSP uma forte contribuição do manejo, enquanto que, na camada de 20 – 40 cm, o fenômeno pode receber certa influência do adensamento natural das partículas do solo. Uma vez que, a pesquisa foi conduzida em uma área, que segundo Silva e Carvalho, (2007) está inserida predominantemente na região dos Tabuleiros Costeiros. Esses solos são derivados de sedimentos da Formação Barreiras e têm como característica peculiar horizontes minerais subsuperficiais, que apresentam consistência friável quando úmidos; contudo, quando secos, apresentam consistência dura, muito dura ou extremamente dura, exibindo forte coesão (Jacomine, 2001; Ribeiro, 2001; Silva & Carvalho, 2007).

5.3 Mapeamento da RSP e do teor de água no solo na camada de 0 – 10 cm

Na camada de 0 – 10 cm de solo, os valores de RSP (figura 5a) tiveram os seguintes comportamentos, observa-se que 75,47% da área estão no intervalo de 0 – 2 MPa, valor considerado sem impedimento ao desenvolvimento das raízes e 20,96% esta entre 2 – 4 MPa com redução no desenvolvimento (Tabela 7). Baseado nos valores observados, para a variável em estudo, essa camada não possui impedimento ao desenvolvimento do sistema radicular para a cultura da cana-de-açúcar.

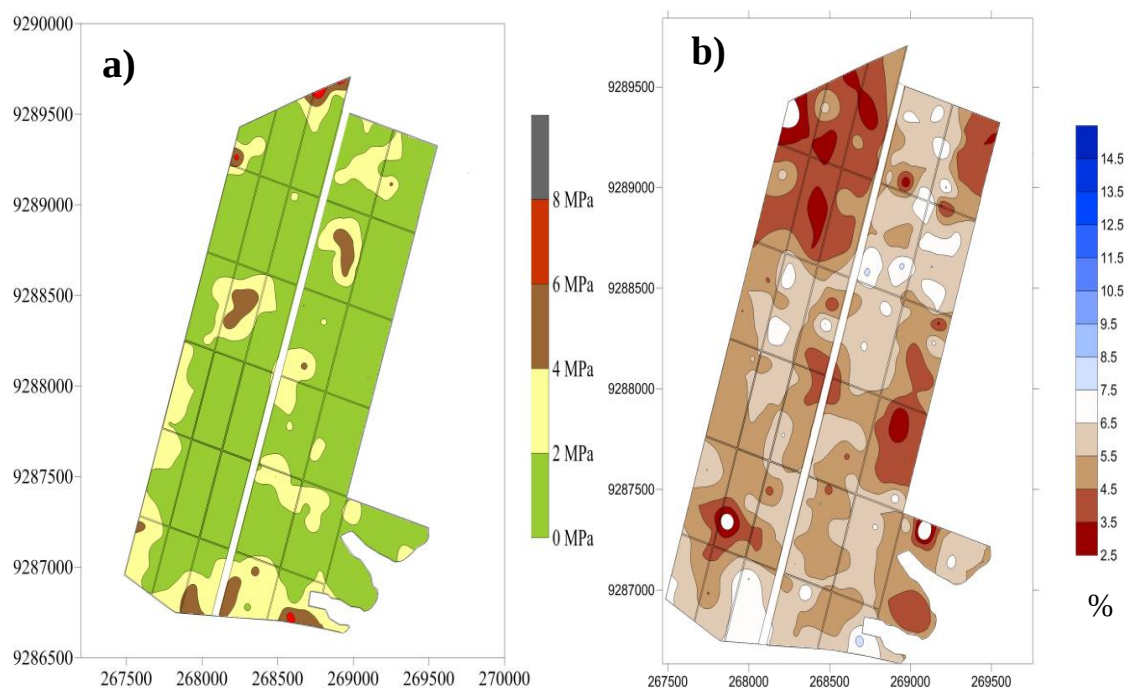


Figura 5 - Mapas de isovalores na profundidade de 0 – 10 cm. a) Mapa da Resistência do Solo à Penetração e b) Mapa do teor de água no solo. Fazenda Casqueira em Baía Formosa – RN, 2015.

O menor teor de água encontrado, dentre as camadas, foi observado na profundidade de 0 – 10 cm, com valor médio de 5,38 % (Tabela 4). Apesar de existir uma correlação entre o teor de água e a RSP na camada (Tabela 5), a comparação dos mapas não permite visualizar regiões em que as variáveis se correlacionam. Resultado semelhante de RSP foram encontrado por Lima et. al (2013), em um solo franco-arenoso na camada de 0 – 10 cm.

Tabela 7 – Critérios utilizados para a avaliação do mapa de RSP no desenvolvimento da cana-de-açúcar na camada de 0 – 10 cm, adaptada de Ribeiro (2010).

RSP (MPa)	Grau de compactação	Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar	Representação nas cores	(%) Área equivalente
0 - 2	Baixo	Sem impedimentos	Verde	75,47
2 - 4	Moderado	Redução no desenvolvimento	Amarelo	20,96
4 - 6	Alto	Impedimento	Marrom	3,39
6 - 8	Muito alto	Pequeno desenvolvimento	Vermelho	0,18
> 8 MPa	Crítico	Desenvolvimento crítico	Cinza	-

5.4- Mapeamento da RSP e do teor de água no solo na camada de 10 – 20 cm.

Podemos observar que a RSP na camada de 10 – 20 cm (figura 6a), aumentou em relação à camada anterior, onde 57,29% da área total foi representando pelo índice que está na faixa de 2 – 4 MPa (Tabela 8). Esse resultado pode ser atribuído em virtude do uso intensivo da mecanização, que compacta o solo e aumenta sua resistência ao desenvolvimento radicular da cultura. Constatou-se nesta camada valores considerados muito prejudiciais ao desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar. Sendo que 6,59% pertencente a faixa de 6 – 8 MPa e 0,37% na faixa acima de 8 MPa (Tabela 8). Segundo Sene et al. (1985), em solos com textura arenosa, valores superiores a 6,0 MPa são considerado críticos ao crescimento radicular. Este resultado é importante, uma vez que Gonçalves, (2006) constatou que 62% do sistema radicular da cana-de-açúcar encontram-se na camada de 0 a 20 cm.

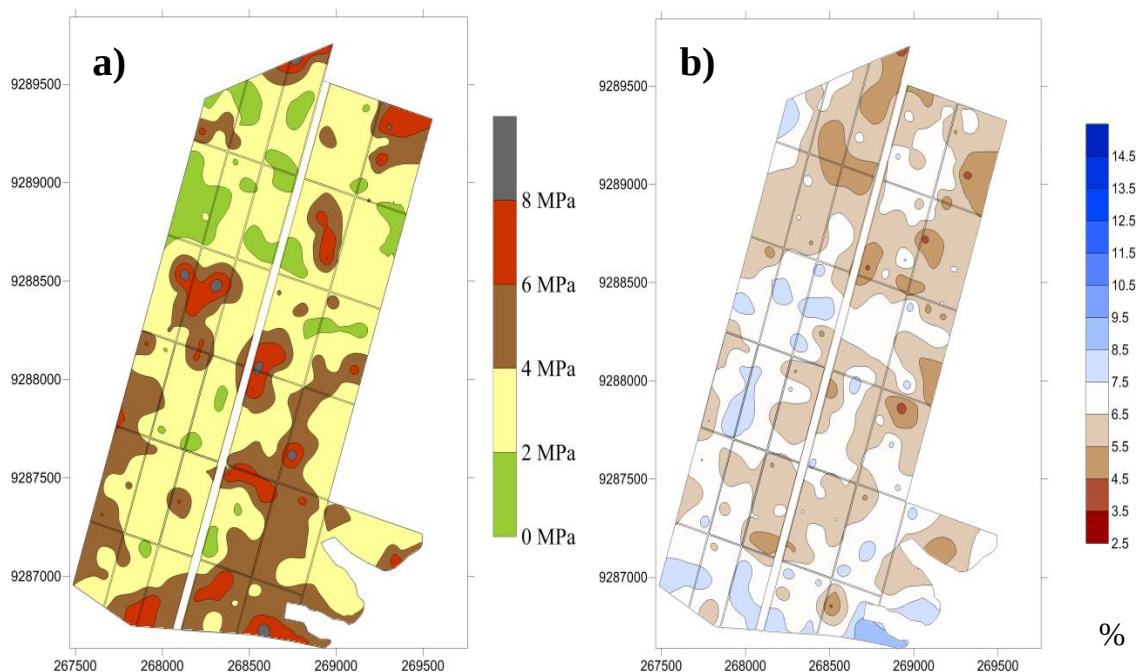


Figura 6 - Mapas de isovalores na profundidade de 10 – 20 cm. a) Mapa da Resistência do Solo à Penetração e b) Mapa do teor de água no solo. Fazenda Casqueira em Baía Formosa – RN, 2015.

Na camada de 10 – 20 cm o teor de água no solo aumentou em relação à camada anterior (figura 6b), apresentando média de 6,50 % (Tabela 4), mesmo existindo uma baixa correlação entre o teor de água e a RSP, não foi suficiente para interferir na resistência. Esse aumento é uma tendência natural, uma vez que as coletas para a determinação do teor de água foram realizadas no período chuvoso. De acordo com (Sobrinho et al., 2003) a força da gravidade passa a prevalecer na superfície e a água percola em direção as camadas mais profundas.

Tabela 8 – Critérios utilizados para a avaliação do mapa de RSP no desenvolvimento da cana-de-açúcar na camada de 10 – 20 cm, adaptada de Ribeiro (2010).

RSP (MPa)	Grau de compactação	Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar	Representação nas cores	(%) Área equivalente
0 - 2	Baixo	Sem impedimentos	Verde	8,38
2 - 4	Moderado	Redução no desenvolvimento	Amarelo	57,29
4 - 6	Alto	Impedimento	Marrom	27,37
6 - 8	Muito alto	Pequeno desenvolvimento	Vermelho	6,59
> 8 MPa	Crítico	Desenvolvimento crítico	Cinza	0,37

5.5 Mapeamento da RSP e do teor de água no solo na camada de 20 – 30 cm

De acordo com a figura 7a, observa-se que, 43,93% da área obteve valores de RSP entre 6 – 8 MPa, este índice é considerado muito prejudicial para o desenvolvimento radicular, e 4,67% da área foi classificada como crítica ao desenvolvimento da cultura (Tabela 9). De acordo com Mozambini et al. (2006) cerca de 85% das raízes da cana-de-açúcar encontram-se nos primeiros 50 cm e aproximadamente 60% entre as profundidades de 20 a 30 cm. Nas profundidades acima de 20 cm é provável que exista uma maior influência da compactação por atividades mecanizadas. Segundo Hakansson & Voorhees, (1998), o sistema de preparo convencional ocasiona compactação na camada subsuperficial do solo. Campos et al. (2013) obtiveram valores menores de RSP do que os encontrados nesse trabalho, com 2,86 MPa o valor máximo de resistência do solo na profundidade de 15 – 30 cm em áreas cultivadas com cana-de-açúcar.

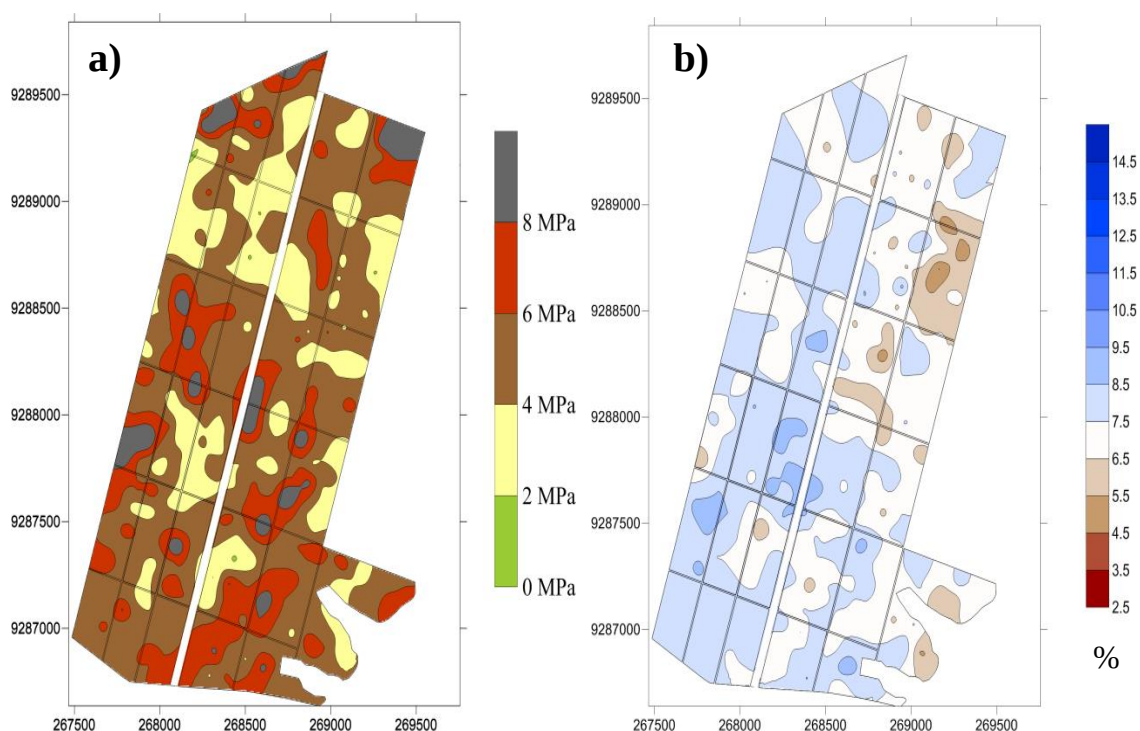


Figura 7 - Mapas de isovalores na profundidade de 20 – 30 cm. a) Mapa da Resistência do Solo à Penetração e b) Mapa do teor de água no solo. Fazenda Casqueira em Baía Formosa – RN, 2015.

O aumento do teor de água permanece crescente (figura 7b), com uma média de 7,4% (Tabela 4), a diferença com relação as outras camadas anteriores, está na inexistência da correlação entre as variáveis em estudo (tabela 05). Na comparação entre

os mapas percebe-se um aumento considerável das RSP e do teor de água na camada. Resultados diferentes foi observado por Hillel, (1998), onde o aumento do teor de água no solo diminuiu a resistência à penetração.

Tabela 9 – Critérios utilizados para a avaliação do mapa de RSP no desenvolvimento da cana-de-açúcar na camada de 20 – 30 cm, adaptada de Ribeiro (2010).

RSP (MPa)	Grau de compactação	Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar	Representação nas cores	(%) Área equivalente
0 - 2	Baixo	Sem impedimentos	Verde	0,07
2 - 4	Moderado	Redução no desenvolvimento	Amarelo	21,11
4 - 6	Alto	Impedimento	Marrom	30,22
6 - 8	Muito alto	Pequeno desenvolvimento	Vermelho	43,93
> 8 MPa	Crítico	Desenvolvimento crítico	Cinza	4,67

5.6 Mapeamento da RSP e do teor de água no solo na camada de 30 – 40 cm.

Na camada de 30 – 40 cm (figura 8a) o índice crítico de RSP foi o maior observado, onde 10,17% dos valores estavam acima de 8 MPa. E 32,71% está entre 6 – 8 MPa (Tabela 10), uma situação extremamente desfavorável ao desenvolvimento radicular para a cultura em estudo. Esta camada além de receber forte influência da mecanização, ainda pode sofrer um adensamento natural das partículas menores do solo, pois o local onde foi efetuada as coletas está inserida na região dos Tabuleiros Costeiros Potiguar. Segundo Jacomine, (2001), a camada coesa nos Tabuleiros Costeiros está situada entre 30 e 60 cm de profundidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Souza et al. (2014) ao estudar o efeito da RSP em um Argissolo Amarelo, verificaram que na camada 30 - 40 cm existiu valores elevados de RSP, segundo eles, isso pode ser devido à existência de uma faixa compactada do solo, conhecida vulgarmente como “pé-de-arado ou pé-de-grade”, pois logo após essa camada os valores de RP tendem a diminuir.

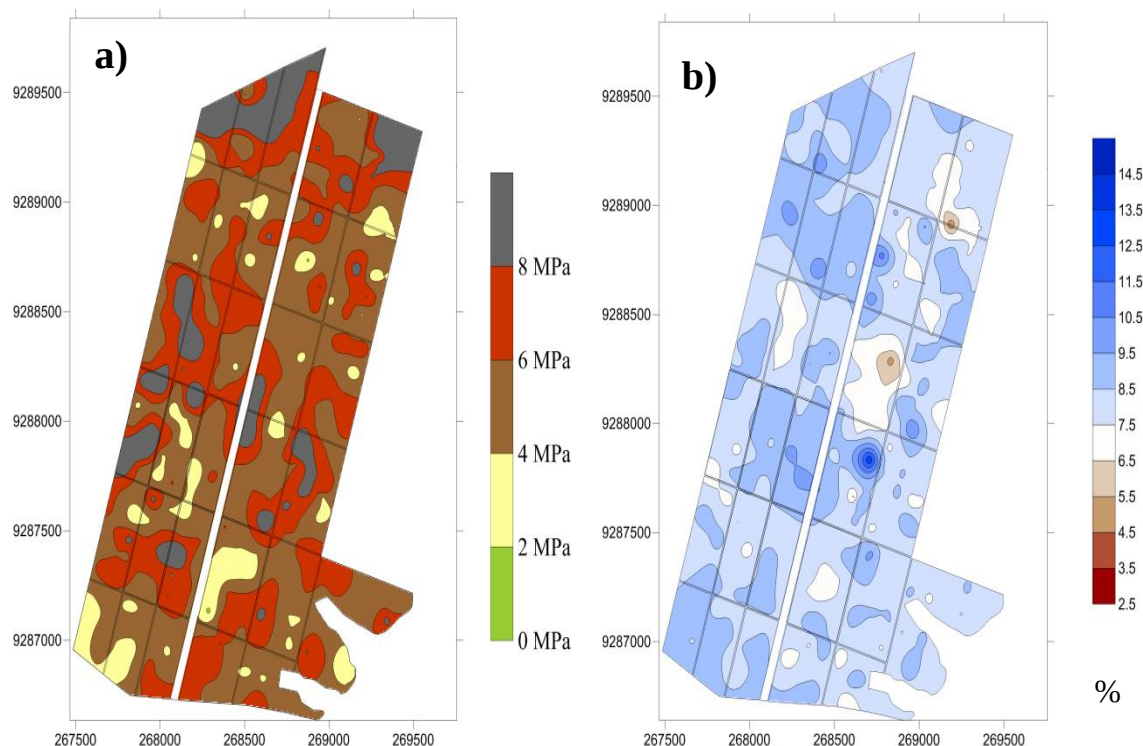


Figura 8 - Mapas de isovalores na profundidade de 30 – 40 cm. a) Mapa da Resistência do Solo à Penetração e b) Mapa do teor de água no solo. Fazenda Casqueira em Baía Formosa – RN, 2015.

Na camada 30 – 40 cm, o teor médio de água no solo aumentou para 8,18% (Tabela 4), continuando a tendência do aumento observada nas camadas anteriores. Na camada fica bem claro o efeito do teor de água na RSP, uma vez que, para regiões com os maiores teores de água a RSP não diminuiu. No mesmo contexto, Souza et al. (2014) observaram que o teor de água do solo não interferiu nos valores de RSP, ao estudar o perfil de um Argissolo Amarelo, onde os valores da RSP foram semelhantes, tanto no maior teor (6,7%) quanto no menor (3,5%).

Tabela 10 – Critérios utilizados para a avaliação do mapa de RSP no desenvolvimento da cana-de-açúcar na camada de 30 – 40 cm, adaptada de Ribeiro (2010).

RSP (MPa)	Grau de compactação	Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar	Representação nas cores	(%) Área equivalente
0 - 2	Baixo	Sem impedimentos	Verde	0,01
2 - 4	Moderado	Redução no desenvolvimento	Amarelo	7,38
4 - 6	Alto	Impedimento	Marrom	49,73
6 - 8	Muito alto	Pequeno desenvolvimento	Vermelho	32,71
> 8 MPa	Crítico	Desenvolvimento crítico	Cinza	10,17

5.7 Considerações e recomendações

A variabilidade do solo é o resultado de muitos processos atuando e interagindo no espaço e no tempo. A visualização dos mapas ajudou no entendimento das variáveis estudadas, onde a RSP não diferiu em virtude da variação do teor de água no solo e que, as variáveis em estudo aumentaram com o acréscimo da profundidade. Esses fatos podem ser atribuídos ao manejo (uso intensivo de máquinas) e características físicas solo (teor de argila, densidade do solo e macro e microporosidade) da área (Tabela 11). Resultados semelhantes foram encontrados por Souza et al. (2014) onde verificaram que os valores de RSP foram crescentes à medida que aumentaram-se a profundidade das camadas utilizando um penetrômetro eletrônico em um Argissolo Amarelo.

Tabela 11 – Características físicas do solo da área estudada na Fazenda Casqueira em Baía Formosa – RN, 2012.

Profundidade (cm)	Areia (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	Dp (Mg m ⁻³)	Ds (Mg m ⁻³)
0-10	0,89	0,03	0,07	2,51	1,62
10-20	0,88	0,04	0,07	2,46	1,67
20-30	0,87	0,04	0,09	2,43	1,72
30-40	0,86	0,02	0,12	2,43	1,74
Profundidade (cm)	Ptot (%)	MIC (%)	MAC (%)	CC (%)	PMP (%)
0-10	35,46	23,27	12,19	35,39	4,62
10-20	35,65	23,34	12,31	35,58	4,78
20-30	33,85	21,10	12,76	34,06	4,97
30-40	36,43	19,34	17,09	34,87	7,05

Fonte: Oliveira Filho, 2014.

Dp = densidade de partícula; Ds = densidade do solo; Ptot = porosidade total; MIC = microporosidade; MAC = macroporosidade; CC = capacidade de campo e PMP = ponto de murcha permanente.

A área estudada possui regiões de alta compactação, com valores de RSP acima de 6 MPa, dentre os atributos físicos do solo este é o parâmetro que representa um maior o efeito na compactação. Essas regiões estão representadas nos mapas pelas cores vermelha e cinza, que indicam respectivamente, índices críticos e extremamente críticos ao desenvolvimento radicular. Para o tipo de solo da localidade, são esses os locais que necessitam de uma intervenção, seja pelo o uso da subsolagem, prática realizada em curto espaço de tempo, no entanto, com custo elevado ou por uma forma mais sustentável, que é a alternâncias de plantio, utilizando plantas específicas para a

descompactação do solo, no espaço entre a colheita da cana-de açúcar e a renovação do plantio, porém, essa prática requer um período maior de concretização.

6. CONCLUSÕES

Os modelos de semivariograma de melhor ajuste foram o esférico para a variável Resistência do Solo à Penetração e exponencial para o Teor de Umidade do Solo;

O teor de água no solo exerceu baixa influência sobre a Resistência do Solo à Penetração somente nas camadas de 0 – 10 e 10 à 20 cm;

Práticas mecanizadas e práticas culturais devem ser implantadas nas áreas em estudo, principalmente para minimizar os efeitos da compactação nas camadas abaixo de 20 cm de profundidade.

REFERÊNCIAS

- Almeida, C. X.; Centurion, J. F.; Jorge, R. F.; Andrioli, I.; Vidal, A. A.; Serafim, R. S. Índice de flocculação e agregação de um Latossolo Vermelho sob dois sistemas de colheita da cana-de-açúcar. *Bioscience Journal*, v.25, p.123-129, 2009.
- Almeida, C. X.; Centurion, J. F.; Jorge, R. F.; Barbosa, J. C.; Andrioli, I. Funções de pedotransferências para a curva de resistência do solo à penetração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 36, p.1745-1755, 2012.
- Antunes, J. F. G.; Mercante, E.; Esquerdo, J. C. D. M.; Lamparelli, R. A. C.; Rocha, J. V. Estimativa de área de soja por classificação de imagens normalizadas pela matriz de erros. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.47, p. 1288 – 1294, 2012.
- Antuniassi, U. R. Agricultura de precisão: aplicação localizada de agrotóxicos. In: Guedes, J.V.C.; Dorneles, S.H.B. (Org.). *Tecnologia e segurança na aplicação dos agrotóxicos – novas tecnologias*. Santa Maria: Departamento de Defesa Fitossanitária; Sociedade de Agronomia de Santa Maria, 1998. p.53-63.
- Arzeno, J. L., Vieira, S. R., Siqueira, G. M., & Guedes Filho, O. Variabilidade espacial da resistência à penetração na superfície do solo em sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 9(3), 343-352. 2014.
- Assis, R. L.; Lazarini, G. D.; Lencas, K. P.; Cargnelutti Filho, A. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. *Engenharia Agrícola*, v.29, p.558-568, 2009.
- Basaldi, O. V.; Faria, C. A. C.; Novaes Filho, R. Considerações sobre a dinâmica recente do complexo sucroalcooleiro no estado de São Paulo, *Informações Econômicas*, v. 26,n. 4, p.21-29, 1996.
- Barbieri, V.; Vila Nova, N. A. *Climatologia e a cana-de-açúcar*. Araras; PLANALSUCAR – Coordenadoria Regional Sul – CONSUL. Climatologia, 1977. p. 1-22.
- Batista, F. F. Influência de modelos de dependência espacial na definição de mapas temáticos. Viçosa: UFV, 2012. 70p. Dissertação de Mestrado
- Busscher, W. J.; Bauer, P. J.; Camp, C. R.; Sojka, R. E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. *Soil Tillage Research*, v.43, p.205-217, 1997.
- Camargo, O.A.; Alleoni, L.R.F. *Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas*. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.

- Camargo, L. A.; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T. Spatial variability of physical attributes of an Alfisol under different hillslope curvatures. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.34, p.617-630, 2010.
- Cambardella, C. A.; Moorman, T. B.; Novack, J. M.; Parkin, T. B.; Karlen, D. L.; Turco R. F.; Knopk, A. E. Field-scale variability of soil proprieties in central Iowa soils. *Soil Science Society America Journal*, v.58, p.1240-1248, 1994.
- Campos, M. C. C.; Aquino, R. E.; Oliveira, I. A.; Bergamim, A. C. Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração e umidade do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na região de Humaitá, Amazonas, Brasil. *Agrária. Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.8, p.305-310, 2013.
- Castro Neto, P.; Nagoaka, A. K.; Lanças, K. P. Agricultura de precisão: Sistema de processamento de dados para elaboração de mapas de isocompactação. In: *Simpósio em Energia na Agricultura*, 1999, Botucatu. *Anais.... Botucatu: FCA, Unesp*, v.2, p.449-453, 1999.
- Castro, P. R. C., Kluge, R. A. *Ecofisiologia de culturas extrativistas: cana-de-açúcar, seringueira, coqueiro, dendenzeiro e oliveira*. Cosmópolis: Stoller do Brasil, 2001. 138p.
- Chancellor, W.J. *Compaction of soil by agricultural equipment*. Berkeley: University of California, Division of Agricultural Sciences, 1977. 53p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO: Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, Safra 2014/15 - Segundo Levantamento. N. 2. ISSN: 2318-7921 ed. Brasília: Copyright ©, 2014. 20 p. v. 1. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. 10 Nov. 2014.
- Corá, J. E.; Araujo, A. V.; G. T. Pereira, G. T.; Beraldo, J. M. G.; Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. v.28, p.1013-1021, 2004.
- Corrêa, A. N.; Tavares, M. H. F.; Uribe-Opazo, M. A. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e seus efeitos sobre a produtividade do trigo. *Semina: Ciências Agrárias*, v.30, p.81-94, 2009.
- Couto, E. G.; Klamt, E.; Stein, A. Estimativa do teor de argila e do potássio trocável em solos esparsamente amostrados no sul do estado do Mato Grosso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.129-139, 2000.

- Cronquist, A. An integrated system of classification of flowering plants. New York: Columbia University Press., 1981. 126p
- Cunha, J. P. A. R.; Vieira, L. B.; Magalhães, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. Engenharia na Agricultura, v.10, p.1-7, 2002.
- Davis, G., Casady, W.; Massey, R. Precision agriculture: An introduction. Water quality. University of Missouri-System, 1998. p.8.
- Dias Júnior, M. S.; Pierce, F. J. Revisão de literatura: o processo de compactação do solo e sua modelagem. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.20, p.175-182, 1996.
- Dienardin, J. E.; Kochhann, R.A.; Denardin, N. D. Considerações sobre adensamento e compactação em manejo de Latosolos. In: CINTRA, F.L.D.; ANJOS, J.L; IVO, W.M.P.M., (Eds.) WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIRO, 2001, Aracaju. Anais... Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p.317-325, 2001.
- Doorenbos, J.; Kassam, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, 1994. p.220-226. (Boletim, 33)
- Ecco, M.; Carvalho, L. A. de; Ferrari, L. P. Variabilidade espacial da resistência do solo a penetração em área cultivada com cana-de-açúcar na safra 2008/2009. Revista Agrarian, v. 5, p.263-269, 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.
- Faraco, M. A.; Uribe-Opazo, M. A.; Silva, E. A. A. da; Johann, J. A.; Borssoi, J. A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.463-476, 2008.
- Gomes, A. de S.; Peña, Y. A. Caracterização da compactação através do uso do penetrômetro. Lavoura Arrozeira, v.49, p.18-20, 1996.
- Gonçalves, N. H. Manejo do solo para implantação da cana-de-açúcar. In: Segato, S. V. (Org.) et al. Atualização em Produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: CP 2, 2006.
- Guerra, S. P. S.; Lanças, K. P.; Mazetto, F. R. Utilização do GPS e do penetrômetro hidráulico-eletrônico para localização de pontos e avaliação da compactação do solo. Reunião Científica em Ciências Agrárias do Lageado, 7, 2000, Botucatu. Resumos... Botucatu: Universidade Estadual Paulista, p.85. 2000.

- Gupta, S. C.; Allmaras, R. R. Models to access the susceptibility of soil to excessive compaction. *Advances in Soil Sciences*, v.6, p.65-100, 1987.
- Hakansson, I.; Voorhees, W. B. Soil compaction. In: Lal, R.; Blum, W. H.; Valentin, C., et al. (eds.) *Methods for assessment of soil degradation*. Boca Raton: Lewis, 1998. p.167-179.
- Hakansson, I.; Voorhees, W.B.; Riley, H. Vehicle and wheels factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. *Soil & Tillage Research*, v.11, p.239-282, 1988.
- Hamlett, J. M.; Horton, R.; Cressie, N. A. C. Resistant and exploratory techniques for use in semivariogram analyses. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.50, p.868-875, 1986.
- Hauschild, F. E. G. Técnicas de agricultura de precisão para definição de zonas de manejo de solo. Santa Maria: UFSM, 2013. 80p. Dissertação de Mestrado.
- Hillel, D. *Environmental soil physics*. San Diego: Academic Press, 1998. 771p.
- Imhoff, S.; Pires da Silva, A.; Dias Júnior, M. S.; Tormena, C. A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.11-18, 2001.
- Jacomine, P. K. T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos do Brasil. In: Cintra, F. L. D; Anjos, J. L. dos; Ivo, W. M. P. de M. *Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros*, 2001, Aracaju. *Anais...* Sergipe: EMBRAPA, 2001. p.161-168.
- Kiehl, E.J. *Manual de edafologia: Relações solo-planta*. São Paulo: Ceres, 1979. 264p.
- Kilpp, A. R. Fieldstar: atual estágio de utilização no Brasil. In: BALASTREIRE, L. A. *Avanços na agricultura de precisão no Brasil no período de 1999-2001*. Piracicaba, SP: ESALQ, 2002. P.10-15.
- Kirubakaran, R.; Venkataramana, S.; Jaabir, M. S. M. Effect of Ethrel and Glyphosate on the ripening of Sugar Cane. *International Journal of Chem Tech Research*, v.5, p.1927-1938, 2013.
- Klein, V. A.; Libardi, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes tipos de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.26, p.857-67, 2002.
- Klein, V. A.; Libardi, P.L.; Silva, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. *Engenharia Agrícola*, v.18, p.45-54, 1998.

- Lima, J. S. S.; Oliveira, R. B.; Rocha, W.; Oliveira, P. C.; Quartezeni, W. Z. Análise espacial de atributos químicos do solo e da produção da cultura pimenta-do-reino (*piper nigrum*, L.). Idesia, v.28, p.31-39, 2010.
- Lima Neto, J. A.; Ribeiro, M. R.; Corrêa, M. M.; Souza Júnior, V. S.; Lima, J. F. W. F.; Lima, R. F. A. Caracterização e gênese do caráter coeso em latossolos amarelos e argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas. Rev. Bras. Ciênc. Solo. vol.33, n.4, pp. 1001-1011. ISSN 0100-0683, 2009.
- Lima, R. P.; De León, M. J.; Silva, A. R. da. Compactação de diferentes classes texturais em áreas de produção de cana-de-açúcar. Revista Ceres, v.60, p.016-020, 2013.
- Machado, L. de O.; Lana, A. M. Q.; Lana, R. M. Q.; Guimarães, E. C.; Ferreira, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v.31, p.591-599. 2007.
- Marasca, I.; Oliveira, C.; Guimarães, E.; Cunha, J.; Assis, R.; Perin, A.; Menezes, L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água em sistema de plantio direto na cultura da soja. Bioscience Journal, v.27, p.239-246, 2011.
- Matheron, G. 1963. Principles of geostatistics. Economic Geology 58, p.1246-66.
- Matsuoka, S.; Garcia, A. A. F.; Arizono, H. Melhoria da cana-de-açúcar. In: Boren, A. (Ed.) Melhoria de espécies cultivadas. 2.ed. Viçosa: UFV, 1999, p.205-251.
- Molin, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. Eng. Agríc., v.22, p.83-92, 2002.
- Molin, J. R.; Dias, C. T. S.; Carbonera, L. Estudos com penetrometria: Novos equipamentos e amostragem correta. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, p.584-590, 2012.
- Moraes, M. T. de; Debiasi, H.; Franchini, J. C.; Silva, V. R. da. Correction of resistance to penetration by pedofunctions and a reference soil water content. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v.36, p.1704-1713. 2012.
- Mozambini, A. E.; Pinto, A. S.; Segato, S. V.; Mattiuz, C. F. M. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: Sagato, S. V.; Pinto, A. S.; Jendiroba, E.; Nóbrega, J. C. M. Atualizações em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba, SP: Prol Editora Gráfica, 2006. p.11-18.

- Oliveira Filho, F. X. de. Análise espacial da compactação do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. Mossoró: UFRSA, 2014. 111p. Tese de Doutorado
- Oliveira, L. B. de; Luz, L. R. Q. P. da; Delaia, M. da P. Contribuição aos Estudos de Compactação, Adensamento e Coesão do Solo. 21.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 221p. (CDD (21.ed.) 631.4781).
- Pereira, J. O.; Siqueira, J. A. C.; Uribe-Opazo, M. A.; Silva, S. de L. Resistência do solo à penetração em função do sistema de cultivo e teor de água do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, p.171-174, 2002.
- Reichardt, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 1990. 188 p
- Reicherdt, J. M. et al. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, Efeitos, Limites críticos e Mitigação In: TÓPICOS EM CIÊNCIA DO SOLO. Volume V, 2007. p.50-106.
- Reinert, D. J.; Collares, G. L.; Reichert, J. M. Penetrômetro de cone com taxa constante de penetração no solo: desenvolvimento e teste de funcionalidade. Revista Engenharia Agrícola, v. 27, p.304-316, 2007.
- Ribeiro, M.R. Características morfológicas dos horizontes coesos dos solos de Tabuleiros Costeiros. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS. Aracaju. 2001. Anais. Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros. p.161-168.
- Ribeiro, C. A. Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração em áreas mecanizadas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). Jaboticabal: FCAV, 2010. 85p. Dissertação de Mestrado.
- Robertson, G.P. GS + : Geostatistics for the environmental sciences – GS + User's Guide. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152 p.
- Rosa, D. P. da. Relação Solo-Máquina-Planta num Argissolo Cultivado e Sob Campo Nativo. Santa Maria: UFSM, 2009.109p. Tese de Doutorado
- Rosa, D. P. da; Reichert, J. M.; Mentges, M. I.; Barros, C. A. P.; Reinert, D. J.; Vieira, D. A. Cultivo mínimo: efeito da compactação e deformação abaixo da atuação da ponteira do subsolador. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, p. 1199-1205, 2011.
- Sá, M. A. C.; Santos Júnior, J. D. G. Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. Documentos, 136. 26p.

- Santi, A. L.; Della Flora, L. P. Monitoramento da compactação do solo em áreas de lavoura através do mapeamento da resistência à penetração. *Revista Plantio Direto*, n.96, 2006.
- Santos, G. R. dos. Hierarquização geométrica dos preditores geoestatísticos. Minas Gerais: UFLA, 2010. 200p. Tese Doutorado
- Santos, K. S.; Montenegro, A. A. A.; Almeida, B. G.; Montenegro, S. M. G. L.; Andrade, T. S.; Fontes Júnior, R. V. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.828–835, 2012.
- Sene, M.; Vepraskas, M. J.; Naderman, G. C.; Denton, H. P. Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. *Soil Science Society of America Journal*, v.49, p.422-27, 1985.
- Silva, A. J. N. da; Cabeda, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.30, n.6, p.921-930. 2006.
- Silva, A. J. N. da; Carvalho, F. G. de;. Coesão e resistência ao cisalhamento relacionadas a atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo de tabuleiro costeiro. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 2007, vol.31, n.5, pp. 853-862. ISSN 0100-0683.
- Silva, P. C. M. da; Chaves, L. H. G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, p.431-436. 2001.
- Silva, V. R.; Reinert, D.J.; Reichert, J. M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. *Ciência Rural*, v.30, p.795-801, 2000.
- Silva, V.R.; Reichert, J.M.; Reinert, D.J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. *Ciência Rural*, v.34, p.399-406, 2004.
- Siqueira, G. M.; Vieira, S. R.; Ceddia, M. B. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. *Bragantia*, v.67, p.203-211, 2008.
- Sobrinho, T. A.; Vitorino, A. T. C.; Souza, L. C. F.; Gonçalves, M. C.; Carvalho, D.F. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.191-196, 2003.
- Souza, L. S.; Souza, L.D.; Caldas, R. C. Identificação da coesão com base em atributos físicos convencionais em solos dos Tabuleiros Costeiros. In: workshop coesão em

- solos dos tabuleiros costeiros, Aracaju, 2001. Anais. Aracaju, p.169-190. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001.
- Souza, Z. M. de; Cerri, D. G. P.; Colet, M. J.; Rodrigues, L. H. A.; Magalhães, P.S.G.; Mandoni, R. J. A. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. *Ciência Rural*, v.40, p.840-847, 2010.
- Souza, Z. M. de; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T.; Barbieri, D.M. Small relief shape variations influence spatial variability of soil chemical attributes. *Scientia Agricola*, v.63, p.161-168. 2006.
- Souza, Z. M.; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T.; Moreira, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, v.34, p.1763-1771, 2004.
- Souza, E. B. de; Patrocínio Filho, A. P.; Pimenta, W. A.; Nagahama, H. de J; Cortez, W. Resistência Mecânica do solo a Penetração em Função da sua umidade e do tipo de penetrometro. *Reveng*, v.22, n.1, p.67-76. 2014
- Stenger, R.; Priesack, E.; Beese, F. Spatial variation of nitrate-N and related soil properties at the plot-scale. *Geoderma*, v.105, p.259-275, 2002.
- Stevenson, G.C. Genetics and breeding of suga cane. London: Longmans, 1965. 284p.
- Tavares Filho, J.; Ribon, A. A. Resistência do solo à penetração em resposta ao número de amostras e tipo de amostragem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.487-494, 2008.
- Taylor, H. M.; Robertson, G. M.; Parker, J. J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. *Soil Science*, v.102, p.18-22, 1966.
- Tormena, C. A.; Silva, A. P.; Libardi, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, p.573-581, 1998.
- Torres, E.; Saraiva, O. F. Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja. Londrina: Embrapa Soja. 1999. 58p.
- Vasconcelos, R. F. B.; Cantalice, J. R. B.; Moura, G. B. A.; Rolim, M. M.; Montenegro, C. E. V. Compressibilidade de um latossolo amarelo distrocoeso não saturado sob diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.36, p.525-536, 2012.

- Vasconcelos, R. F. B.; Souza, E. R.; 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
- Vieira, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, R.F. et al. (Eds). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-53.
- Warrick, A. W.; Nielsen, D. R. Spatial variability of same physical properties of the soil. In: Hillel, D. ed. *Applications of soil physics*, New York: Academic Press, 1980. Cap.13, p.319-344.
- Yang, S. J. Soil physical properties and the growth of ratoon cane as influenced by mechanical harvesting. In: *Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists*, 16., São Paulo, 1977. *Proceedings...* São Paulo, International Society of Sugarcane Technologists, p.835-847. 1977.

APÊNDICE

TABELA 1 – Localização e distribuição das variáveis estudadas em quatro profundidades na Fazenda Casqueira em Baía Formosa-RN, 2015.

Num. da RMSP	Cord. (X)	Cord. (Y)	U% (0- 10)	U% (10- 20)	U% (20- 30)	U% (30- 40)	MPa (0-10)	MPa (10- 20)	MPa (20-30)	Mpa (30.40)
Talhão 96										
Tal. 96	268966	9289351	6,76	6,83	6,96	7,84	1,37	3,79	4,88	5,61
299	268936	9289243	5,01	5,51	6,43	7,95	1,53	4,61	7,20	8,37
300	268905	9289146	5,87	7,74	7,63	8,20	2,54	3,46	4,09	4,99
301	268875	9289051	5,82	7,09	7,43	7,76	0,91	2,98	5,30	6,93
303	268972	9289025	2,40	7,17	7,21	8,24	1,44	3,33	4,78	5,83
304	269005	9289121	5,82	5,87	6,26	7,49	1,76	3,74	5,36	5,92
305	269030	9289220	6,04	6,98	7,23	7,73	2,58	3,77	5,16	5,90
306	269059	9289312	6,49	6,21	6,54	7,49	1,72	2,08	3,00	5,33
307	269089	9289409	6,04	5,26	6,24	8,50	2,12	3,55	5,08	5,46
308	269182	9289379	6,76	6,70	7,15	9,34	1,29	1,53	2,10	3,86
309	269152	9289284	6,38	6,72	6,83	7,74	2,37	2,80	3,63	5,55
310	269124	9289190	6,36	6,87	7,39	7,47	2,32	3,90	4,77	6,16
311	269093	9289091	5,45	6,65	7,74	7,55	2,03	3,88	5,52	9,44
312	269062	9288993	6,72	6,96	7,09	7,17	1,11	2,08	2,20	5,86
Talhão 93										
319	268865	9288963	5,69	6,85	8,02	8,68	1,07	2,46	4,36	4,86
320	268813	9288871	6,40	6,68	7,37	7,49	2,01	2,91	4,22	6,27
321	268782	9288770	5,45	5,95	6,45	10,93	2,32	2,80	3,52	5,18
322	268937	9288929	6,17	7,00	6,94	7,19	1,87	4,43	7,12	9,40
325	268904	9288828	5,72	6,09	6,24	7,15	5,46	6,93	7,64	6,85
326	268876	9288735	5,15	6,36	6,85	8,06	1,66	3,70	4,33	1,63
327	269033	9288903	6,83	6,24	7,13	9,63	2,01	3,44	4,19	4,90
328	269001	9288802	5,26	6,81	7,84	8,17	3,90	4,53	5,41	4,87
329	268970	9288705	5,29	6,00	6,40	6,90	6,04	7,79	7,92	5,86
331	268918	9288523	6,74	5,01	6,40	7,84	1,20	3,17	4,94	6,91
332	268947	9288613	7,82	7,67	8,76	8,27	4,50	8,28	7,58	8,25
333	268826	9288548	6,00	6,92	7,19	7,65	0,84	1,73	2,58	4,18
334	268855	9288641	6,14	5,64	6,76	7,37	1,79	3,32	2,43	5,38
335	268730	9288573	7,76	4,31	8,55	9,99	0,73	1,71	3,46	5,04
336	268759	9288670	7,31	5,18	8,48	8,33	0,57	1,25	2,77	4,13
Talhão 97										
313	269137	9288914	7,43	6,72	6,70	6,94	1,06	2,39	3,73	4,99
314	269161	9288988	5,87	6,63	6,00	6,63	0,71	1,03	3,52	7,43
315	269200	9289100	5,82	6,81	6,54	6,81	3,06	4,00	4,53	6,33
316	269218	9289174	7,39	6,65	6,40	6,90	1,16	3,19	5,05	5,57
317	269249	9289268	5,72	5,35	5,51	7,86	2,43	6,20	5,29	6,88
318	269302	9289274	6,47	6,70	6,29	6,94	2,85	8,72	10,03	10,44
319	269285	9289214	6,02	5,56	6,72	8,13	1,07	2,46	4,36	4,86
338	269254	9289116	5,21	6,49	7,61	7,82	4,50	8,28	7,58	8,25

339	269219	9289000	7,69	7,47	7,15	7,86	1,83	3,44	4,87	6,91
342	269188	9288910	3,36	4,47	4,66	4,63	1,59	4,36	4,76	4,76
346	269239	9288886	3,82	5,92	5,29	7,09	0,40	1,71	2,86	2,78
347	269263	9288966	6,12	6,00	6,40	7,31	0,76	3,04	4,94	3,88
348	269303	9289046	4,35	4,22	7,73	7,51	0,58	2,24	4,01	4,51
349	269298	9289168	4,05	5,72	7,43	7,88	0,80	5,29	6,92	8,64
350	269335	9289282	4,25	6,83	7,53	8,02	1,53	7,33	10,09	10,91
Talhão 94										
351	269094	9288832	6,59	6,87	7,97	8,24	0,85	3,52	4,37	4,55
352	269063	9288724	6,70	4,05	6,87	8,33	1,16	2,57	3,38	4,61
353	269035	9288642	6,33	5,84	5,87	7,49	0,98	2,28	3,93	3,89
354	269006	9288550	6,36	6,12	6,26	7,47	1,48	2,59	3,19	3,32
355	268977	9288448	4,50	4,84	7,39	8,11	1,74	3,50	4,34	5,05
356	269074	9288406	5,21	5,51	5,95	7,39	0,85	2,22	3,84	5,87
357	269104	9288504	7,17	5,59	5,74	6,87	0,76	2,99	5,16	6,84
358	269130	9288606	5,43	5,26	5,35	8,58	0,98	2,92	4,88	6,15
359	269163	9288696	6,85	5,35	4,44	8,75	1,28	3,89	5,66	9,52
360	269196	9288788	6,00	6,24	6,96	9,05	1,19	2,76	4,84	5,78
361	269284	9288774	6,63	6,00	5,18	7,45	1,08	2,14	3,15	5,76
362	269255	9288664	6,54	6,02	6,00	8,75	0,83	1,91	1,79	2,88
363	269225	9288570	6,00	6,61	6,85	8,34	0,76	2,67	5,30	8,16
364	269194	9288486	6,68	5,77	5,79	9,16	0,84	2,99	3,87	3,83
365	269165	9288388	6,63	6,70	6,63	9,38	0,56	2,35	4,19	5,27
Talhão 88										
366	268864	9288386	6,79	6,54	5,84	7,37	0,84	2,45	3,91	4,15
367	268833	9288292	5,92	6,96	4,66	5,10	0,60	1,33	2,81	3,34
368	268802	9288182	5,72	7,45	6,87	6,40	0,80	2,03	4,14	4,83
369	268771	9288088	6,45	6,24	5,95	6,98	1,51	3,02	4,57	4,99
370	268743	9287994	5,56	6,96	7,27	7,02	1,19	2,05	3,48	4,08
371	268654	9288012	6,31	7,73	7,43	6,94	1,39	2,31	3,20	3,96
372	268681	9288108	6,17	6,02	6,24	6,98	4,62	7,62	4,81	4,38
373	268711	9288212	6,68	7,13	6,92	7,41	1,48	4,54	6,05	6,24
374	268810	9288352	6,31	7,21	7,00	7,15	2,45	5,98	6,69	5,49
375	268771	9288396	6,33	7,04	7,00	7,33	1,34	3,12	4,12	4,60
376	268672	9288444	5,10	5,82	6,38	8,56	2,05	4,21	5,58	5,60
377	268640	9288340	5,74	6,56	6,79	6,81	1,16	2,97	5,42	6,23
378	268609	9288238	5,67	7,27	7,97	7,95	1,48	4,07	6,17	7,64
380	268582	9288148	4,89	5,48	5,51	7,09	2,69	7,53	9,20	9,89
381	268552	9288054	4,15	6,02	7,84	8,65	3,39	8,75	10,31	9,36
Talhão 83										
382	268518	9287948	3,95	4,72	6,70	8,68	3,56	8,08	10,24	10,76
383	268488	9287852	6,09	6,43	8,45	8,27	1,30	3,91	5,24	7,19
384	268462	9287764	6,38	6,09	7,61	9,17	1,62	3,99	3,98	5,32
385	268431	9287670	5,72	7,35	9,38	9,49	1,07	2,83	3,76	4,12
386	268400	9287570	5,53	7,63	8,17	8,68	2,76	5,82	5,16	4,48
387	268382	9287552	6,47	7,47	8,70	8,53	1,19	3,38	4,24	5,12
388	268553	9287672	4,92	7,33	7,89	8,26	1,54	4,19	6,46	6,25
389	268583	9287768	5,72	7,21	7,53	8,17	2,15	3,06	3,69	4,78

390	268612	9287664	4,22	6,29	7,15	6,33	1,22	3,40	4,82	6,04
391	268641	9287958	5,26	8,08	7,25	7,35	1,74	3,88	3,77	3,71
392	268737	9287930	4,66	5,79	7,37	8,46	1,86	3,95	3,54	3,98
393	268707	9287834	5,32	6,07	7,82	13,49	1,09	3,57	4,87	5,88
394	268678	9287738	6,14	6,14	8,02	9,19	1,41	3,17	3,61	3,91
395	268649	9287642	5,29	5,84	8,26	9,29	1,26	3,61	5,20	5,94
396	268619	9287548	5,84	6,85	7,91	8,70	1,43	4,01	7,70	9,91
Talhão 89										
397	268982	9288386	5,87	8,00	7,99	8,50	1,58	5,25	6,18	5,77
398	268952	9288290	5,04	6,81	7,91	8,51	0,47	1,32	3,41	5,19
399	268923	9288194	5,74	5,92	7,43	6,87	0,94	3,05	5,40	8,00
400	268893	9288098	5,67	6,81	7,02	9,31	1,26	4,67	6,78	6,17
401	268864	9288002	5,45	5,95	6,04	7,84	1,20	3,88	6,27	7,72
402	268960	9287974	4,63	8,18	7,55	10,50	1,44	5,37	4,94	4,09
403	268989	9288068	4,53	5,87	7,19	8,31	1,06	3,10	4,31	5,27
404	269019	9288164	3,54	5,51	7,00	8,84	0,98	2,82	4,19	6,68
405	269048	9288260	4,75	7,13	8,41	8,34	0,64	1,92	3,57	5,01
406	269078	9288356	4,72	5,26	7,37	8,81	0,63	2,83	4,47	7,05
407	269173	9288326	3,24	5,18	6,54	7,78	0,59	2,40	4,88	7,52
408	269143	9288230	6,81	7,55	7,02	8,24	0,62	1,54	2,88	2,86
409	269101	9288046	4,15	4,75	6,49	6,94	2,08	6,93	6,86	7,89
410	269077	9287954	4,72	5,15	7,49	7,99	0,94	2,58	4,52	6,49
411	269048	9287834	4,25	5,77	6,07	7,74	0,74	2,15	3,45	4,73
Talhão 84										
412	268979	9287680	3,85	6,02	7,37	7,80	0,73	3,01	4,89	6,73
414	268965	9287650	4,60	5,74	6,87	6,49	0,82	2,40	3,29	3,72
415	268935	9287554	3,54	6,04	7,47	9,29	0,59	2,55	3,01	3,58
417	268906	9287458	7,15	7,65	7,80	8,18	1,03	3,02	3,59	6,17
418	268840	9287548	4,12	7,45	6,26	8,02	0,76	2,50	4,37	5,69
419	268869	9287680	3,82	7,76	7,95	8,79	1,92	4,91	8,65	8,88
420	268899	9287774	3,24	5,32	7,69	8,60	0,54	2,28	3,71	8,56
421	268928	9287870	2,74	3,89	7,00	8,58	1,25	3,46	5,05	7,16
422	268821	9287884	4,98	5,56	5,95	7,27	1,50	5,75	10,59	11,98
423	268803	9287804	4,02	6,92	8,39	8,15	1,36	4,47	6,01	5,80
424	268774	9287708	5,04	5,51	6,72	7,57	2,07	4,70	5,95	6,97
425	268744	9287614	4,75	7,19	7,41	8,11	2,43	9,76	10,91	8,47
426	268715	9287518	5,32	6,09	7,11	7,19	1,49	4,73	6,44	6,17
Talhão 80										
427	268385	9287519	6,29	6,92	8,24	8,48	3,32	8,41	7,20	6,20
428	268367	9287441	5,37	6,12	7,13	7,89	1,57	3,77	4,87	4,17
429	268340	9287334	6,19	6,54	7,09	8,48	1,35	3,03	3,72	3,20
430	268313	9287236	5,21	5,79	7,74	7,53	0,96	1,76	1,95	2,59
431	268288	9287131	6,54	5,43	6,94	8,20	0,24	0,79	2,16	1,53
432	268376	9287091	4,98	6,17	7,57	9,51	1,24	4,41	6,74	7,36
433	268404	9287209	4,87	7,33	5,95	7,07	1,77	5,62	8,19	6,49
434	268434	9287320	4,81	5,97	7,47	7,13	0,99	1,69	1,62	2,88
435	268449	9287430	5,53	6,79	7,59	7,78	0,88	2,05	3,72	4,16
436	268486	9287496	4,15	6,02	6,49	7,63	4,07	7,16	5,64	4,45

437	268598	9287462	5,37	6,52	7,02	7,84	1,77	6,63	9,89	7,17
438	268574	9287395	4,89	5,72	8,15	9,19	3,72	6,74	5,58	4,01
439	268540	9287299	6,36	6,54	7,33	7,59	1,43	2,68	3,27	3,28
440	268519	9287198	5,12	6,04	7,55	7,61	1,40	3,77	5,81	6,51
441	268492	9287044	5,59	7,21	7,80	8,08	1,78	4,32	5,44	5,43
Talhão 81										
442	268571	9287024	5,69	7,82	7,25	8,39	1,64	5,32	8,00	7,97
443	268610	9287125	5,43	6,96	7,59	8,75	1,50	4,61	9,17	8,47
444	268647	9287238	5,53	6,85	7,37	8,29	1,91	4,98	7,25	6,82
445	268683	9287334	5,61	5,92	8,33	9,40	1,84	5,10	4,51	5,83
446	268717	9287404	6,47	5,37	8,92	9,73	2,28	5,75	4,83	5,42
447	268814	9287377	5,48	6,85	7,57	7,55	2,48	6,59	6,15	6,10
448	268787	9287311	6,74	7,37	7,35	7,73	2,04	4,13	5,05	4,51
449	268756	9287230	5,56	7,15	7,74	8,15	2,27	6,04	7,27	5,42
450	268735	9287128	5,97	8,02	7,49	8,55	1,80	4,23	5,75	4,06
451	268692	9287015	5,61	7,15	7,11	8,00	1,20	3,32	5,36	5,01
452	268775	9286972	5,64	6,43	7,19	7,41	2,07	3,88	3,61	3,58
453	268826	9287094	5,04	6,36	7,29	8,53	1,71	3,99	4,13	3,86
454	268850	9287198	5,26	7,23	7,23	8,45	1,07	3,72	5,39	5,90
455	268881	9287291	4,53	6,65	6,61	7,82	1,70	3,43	5,56	7,00
456	268905	9287366	4,92	6,83	6,90	7,86	1,33	3,92	7,22	7,74
Talhão 79										
458	268677	9286754	7,93	9,14	8,11	8,11	4,31	6,15	4,36	4,30
459	268581	9286739	5,67	7,04	6,79	6,79	6,77	9,00	6,85	7,59
461	268606	9286815	5,90	6,59	9,25	9,25	0,92	5,31	8,77	3,79
462	268632	9286906	4,84	7,27	8,20	8,20	2,02	4,58	5,41	5,06
463	268534	9286931	4,84	5,53	6,74	6,74	1,75	3,46	4,97	4,83
464	268506	9286852	4,60	4,31	7,59	7,59	3,18	4,70	3,89	3,70
465	268486	9286750	5,84	6,72	7,97	7,97	2,58	5,69	6,16	5,45
Talhão 78										
466	268389	9286772	6,26	7,61	8,55	8,70	2,58	5,22	6,27	5,36
467	268410	9286867	4,87	6,70	7,53	8,36	3,82	3,70	4,07	4,06
468	268443	9286963	5,21	7,65	8,46	9,34	2,50	4,99	6,75	5,76
470	268354	9286986	7,53	7,35	6,47	7,39	4,63	7,80	6,67	5,98
471	268324	9286887	5,40	6,90	7,76	8,02	2,56	6,35	8,34	7,53
472	268289	9286781	5,37	6,98	7,55	8,70	1,68	2,23	3,76	5,40
473	268189	9286815	6,43	7,95	7,41	8,33	4,99	5,91	7,21	6,84
476	268221	9286919	6,00	5,84	6,63	6,87	4,70	6,35	7,39	7,94
477	268250	9287022	5,07	8,08	7,93	8,20	2,06	3,56	5,87	5,99
Talhão 82										
478	268987	9287312	6,29	7,78	8,00	8,18	3,00	4,63	5,84	6,50
479	268955	9287231	4,98	6,56	7,04	8,68	1,81	4,03	5,43	5,59
480	268899	9287043	5,43	5,92	6,31	7,43	1,63	2,22	4,55	5,82
481	268866	9286947	4,44	5,87	7,45	7,99	1,70	4,21	6,80	8,18
482	268954	9286906	3,61	7,17	8,36	9,06	1,10	3,66	6,29	7,00
483	269016	9287024	4,69	5,53	7,55	8,66	1,40	2,19	3,44	4,64
484	269053	9286891	4,05	7,57	5,40	7,95	0,74	2,91	3,16	2,83
486	269054	9287198	5,10	5,97	7,55	7,23	1,70	2,81	2,22	5,97

487	269079	9287288	0,14	6,94	7,86	8,08	1,63	4,08	6,83	7,88
488	269178	9287265	5,15	6,09	6,68	8,17	1,11	2,23	2,82	4,66
489	269138	9287146	5,10	4,84	5,97	8,13	0,76	2,75	4,81	4,73
490	269247	9287130	6,85	5,43	5,77	7,45	0,78	2,95	5,05	4,74
491	269278	9287230	6,29	5,92	8,00	8,58	1,03	3,37	5,02	4,53
493	269374	9287139	5,64	6,83	6,56	8,02	1,27	3,66	6,23	5,36
494	269341	9287096	5,51	6,61	7,49	7,93	2,79	6,93	7,36	8,56
Talhão 50										
505	268541	9288522	6,12	5,84	6,63	7,95	0,70	2,38	4,96	6,85
506	268507	9288414	3,46	7,61	8,46	7,88	1,97	2,94	3,42	5,59
507	268473	9288323	7,59	7,99	8,89	9,57	1,91	3,76	5,19	5,11
508	268449	9288244	5,29	5,12	7,02	7,95	1,41	2,04	4,41	3,47
509	268420	9288147	4,05	7,15	8,34	8,61	1,20	3,13	4,92	6,84
510	268328	9288179	4,60	8,26	8,04	8,18	1,43	2,93	4,46	5,64
511	268357	9288273	4,72	7,02	8,48	9,54	1,41	3,54	4,73	5,97
512	268388	9288372	4,89	8,18	8,51	8,27	0,89	3,68	5,13	5,59
513	268417	9288477	6,31	6,68	7,53	8,29	3,28	5,44	6,73	7,88
514	268445	9288563	5,21	8,10	8,13	8,48	2,69	3,21	5,11	7,38
Talhão 49										
Tal.49	268347	9288380	6,43	7,63	8,15	8,34	2,94	3,61	4,74	6,07
515	268313	9288480	5,53	7,15	6,74	7,15	5,50	9,81	6,44	5,01
516	268260	9288299	6,49	7,13	6,54	7,61	2,80	3,44	5,03	7,41
517	268230	9288192	6,31	7,27	6,98	8,33	1,04	6,31	8,23	7,45
522	268136	9288241	6,74	7,47	7,27	7,49	1,28	3,38	6,72	5,79
523	268170	9288348	6,72	7,11	6,76	6,85	5,27	7,12	9,41	11,77
525	268196	9288435	4,47	7,91	7,82	7,45	3,67	7,19	7,58	8,33
526	268225	9288524	7,37	7,49	7,11	7,29	4,21	4,35	5,83	6,62
528	268255	9288616	6,70	7,23	7,21	6,96	0,75	2,30	4,03	5,61
Talhão 48										
531	268157	9288638	4,92	5,21	7,53	7,53	1,21	3,60	6,79	9,92
533	268124	9288535	4,35	7,51	7,04	7,82	3,62	9,88	10,05	10,05
534	268096	9288444	6,33	6,65	7,91	8,97	1,57	4,04	6,85	7,11
535	268069	9288351	5,97	7,47	8,15	9,16	1,53	4,14	5,79	6,33
536	268038	9288247	5,21	7,21	7,86	8,86	2,38	4,14	7,21	8,33
537	267934	9288285	4,98	6,09	7,71	8,33	1,34	2,08	3,03	5,08
538	267965	9288388	4,47	8,26	8,46	8,63	1,30	3,50	5,14	5,29
539	267996	9288482	5,53	7,11	7,76	7,88	1,42	2,16	3,99	5,92
540	268026	9288579	4,78	5,48	6,45	8,31	0,95	2,69	4,25	5,14
542	268051	9288663	4,60	5,84	7,07	8,34	0,82	2,38	5,32	6,33
Talhão 45										
543	267910	9288181	4,56	6,45	8,10	9,11	2,60	6,45	7,63	9,49
544	267875	9288078	4,75	6,45	7,31	8,27	2,24	2,32	4,14	3,54
545	267844	9287985	5,12	7,00	7,67	8,06	2,30	5,59	6,42	5,49
555	267830	9287889	4,95	6,17	7,09	8,50	3,52	5,59	9,43	9,46
556	267786	9287794	5,01	5,48	5,87	6,81	1,92	5,99	9,34	9,93
557	267891	9287774	5,10	8,53	8,34	8,75	1,57	2,90	4,85	4,58
558	267923	9287878	4,87	7,78	7,71	7,07	1,66	5,42	10,69	11,98

559	267950	9287975	5,15	7,15	7,15	8,17	2,01	4,63	7,28	8,82
560	267977	9288064	5,51	7,63	7,76	8,34	1,05	3,06	4,88	5,51
561	268012	9288155	5,53	6,33	6,68	7,88	0,69	1,82	4,79	9,94
Talhão 46										
565	267990	9287746	4,60	7,49	8,06	9,40	0,79	1,57	2,50	2,77
566	268016	9287842	5,61	8,08	8,06	8,38	1,35	3,87	4,52	3,64
567	268052	9287944	6,02	7,51	8,39	9,09	0,86	3,10	6,23	7,14
568	268080	9288050	5,59	7,67	8,55	8,71	1,06	2,48	2,93	2,73
569	268110	9288131	5,21	7,19	8,33	9,03	1,14	3,04	4,36	3,99
570	268189	9288107	5,61	6,70	8,29	8,89	1,81	6,45	9,88	12,22
571	268161	9288015	6,21	6,70	8,04	8,83	1,21	2,69	3,34	4,06
572	268129	9287911	5,35	6,76	7,91	8,31	0,88	2,41	2,17	3,23
573	268101	9287821	5,10	6,70	8,04	8,81	1,42	3,42	4,53	6,01
574	268071	9287720	5,32	7,17	7,19	8,02	1,19	2,32	5,07	6,23
Talhão 47										
575	268178	9287675	5,84	7,25	9,03	9,06	0,59	1,37	2,21	3,81
576	268216	9287769	6,68	5,97	7,93	8,95	0,98	2,36	2,93	2,24
577	268241	9287872	5,51	6,19	9,08	9,92	1,09	2,62	4,28	5,08
578	268268	9287959	4,98	7,73	8,71	8,71	0,70	2,78	4,18	4,88
579	268296	9288048	5,72	5,35	8,11	8,43	1,06	2,94	5,10	5,25
580	268380	9288028	4,63	5,87	8,17	8,75	0,85	2,46	4,06	5,47
581	268363	9287936	4,28	6,92	8,86	9,44	0,47	1,62	3,50	5,61
582	268325	9287851	5,24	6,07	7,55	8,99	0,45	1,77	3,60	5,40
583	268293	9287746	4,56	5,67	9,02	9,88	1,20	3,29	4,88	6,53
584	268265	9287651	4,69	6,68	8,02	8,87	1,03	2,34	3,19	5,03
Talhão 44										
585	268252	9287532	5,82	6,04	8,56	8,34	1,33	4,03	5,78	5,39
586	268232	9287449	5,95	5,64	6,92	8,02	0,92	2,64	4,46	6,13
587	268197	9287344	5,84	6,85	7,91	8,20	0,83	3,13	4,52	4,95
588	268166	9287251	5,51	5,92	7,93	8,45	1,75	3,52	4,95	6,89
589	268136	9287155	4,75	4,87	7,53	8,55	1,36	3,70	6,10	6,43
590	268043	9287200	4,41	5,07	7,47	8,68	1,07	3,89	7,31	8,10
591	268069	9287301	4,35	6,56	6,76	8,63	1,08	3,58	5,33	5,61
592	268096	9287379	6,17	5,64	6,68	9,16	1,71	6,35	10,46	12,20
593	268130	9287491	4,02	5,97	5,87	8,15	1,06	2,79	4,55	5,13
594	268155	9287577	5,79	5,37	7,73	8,18	1,22	3,01	3,65	3,57
Talhão 43										
595	268053	9287598	5,35	7,07	7,49	8,33	0,74	2,06	3,74	3,91
596	267991	9287418	5,95	7,19	7,43	7,04	1,07	3,23	5,89	8,36
597	267961	9287306					0,77	2,00	3,39	6,39
598	267934	9287227	4,98	7,09	7,82	8,56	0,91	2,47	3,63	4,77
599	267839	9287256					1,23	3,33	4,95	5,58
600	267868	9287341	1,14	6,21	7,47	8,13	0,85	2,65	4,66	6,14
601	267904	9287461					1,10	2,89	5,62	6,29
602	267929	9287547	5,29	5,51	8,50	8,51	1,43	2,81	2,89	3,61
603	267958	9287645					2,01	4,40	7,41	8,87
Talhão 42										
604	267872	9287652	5,10	6,40	8,50	7,00	1,97	4,70	6,13	4,82

605	267846	9287566					1,60	2,74	3,13	2,13
606	267815	9287461	4,75	7,02	8,61	8,70	1,95	4,23	6,91	8,93
607	267793	9287391					1,45	3,60	5,40	5,39
608	267762	9287292	4,72	7,84	8,71	8,89	1,45	3,74	5,70	7,89
609	267654	9287314					2,81	6,15	7,74	6,71
610	267687	9287423	4,50	5,74	7,89	7,80	1,35	3,59	5,13	5,15
611	267713	9287504					1,29	3,57	5,37	5,92
612	267741	9287597	6,54	7,57	8,66	8,91	2,96	5,98	6,80	5,85
613	267770	9287691					2,77	5,46	6,46	6,13
Talhão 39										
614	267615	9287223	5,84	6,56	8,02	8,61	4,21	4,28	4,72	4,30
615	267580	9287115					3,40	4,50	4,79	2,97
618	267555	9287036	6,54	7,88	7,99	8,53	3,40	4,50	4,79	2,97
619	267641	9286921					1,44	2,23	4,00	4,24
620	267668	9287003	5,72	7,51	7,73	8,48	1,89	4,60	6,64	5,87
621	267694	9287090					1,02	2,61	4,61	4,45
622	267722	9287178	4,41	7,41	8,00	8,86	2,24	4,69	4,94	4,66
Talhão 40										
623	267802	9287162	4,38	6,36	8,38	8,24	1,33	3,71	5,04	3,38
624	267780	9287086					1,56	5,48	8,25	5,23
625	267748	9286983	4,41	8,18	7,91	8,70	1,12	2,46	4,28	3,65
626	267725	9286909					1,80	3,78	5,60	3,33
627	267793	9286854	6,14	5,92	7,99	8,68	2,29	5,84	5,87	3,59
628	267824	9286954					1,31	2,42	4,35	3,27
629	267857	9287059	6,07	6,54	7,78	8,71	1,41	2,51	5,11	4,37
630	267885	9287145					0,94	1,33	2,94	4,08
Talhão 41										
631	268000	9287057	7,55	8,08	7,97	8,00	1,13	3,08	4,21	4,34
632	267969	9286962					2,09	3,02	4,10	5,26
633	267947	9286888	6,87	7,93	7,37	7,91	4,69	6,83	7,97	6,65
634	267925	9286821					5,14	7,97	5,83	6,76
635	267995	9286804	6,70	7,51	7,41	8,66	3,64	4,48	6,87	6,63
636	268010	9286856					2,43	5,58	6,08	4,63
637	268040	9286949	6,70	7,29	8,34	9,50	1,84	4,92	4,79	3,52
638	268073	9287061					1,88	3,15	4,08	5,44
Talhão 53										
639	268686	9289001	3,75	4,81	7,71	8,73	0,61	0,89	2,57	4,30
640	268644	9288917					0,80	3,58	5,74	5,90
641	268641	9288839	4,31	6,19	8,20	8,73	0,95	2,97	5,51	8,84
642	268640	9288788					0,49	3,24	4,26	4,43
643	268601	9288713	3,89	7,07	8,06	8,22	0,48	2,09	3,92	4,99
644	268526	9288739					1,07	1,43	1,67	2,77
645	268546	9288810	4,19	6,81	8,00	9,03	0,67	2,22	3,77	5,61
646	268565	9288870					0,81	2,01	3,72	5,20
647	268588	9288940	5,45	6,12	7,80	8,75	0,91	2,11	1,78	3,03
648	268618	9289043					2,44	2,45	3,68	4,04
Talhão 52										
Tal. 52	268515	9289062	3,61	4,78	7,35	8,17	1,26	2,50	3,92	5,35

649											
650	268479	9288980					1,54	1,49	2,60	3,78	
651	268455	9288902	3,01	6,07	6,61	8,63	1,38	3,24	6,02	7,97	
652	268417	9288784					1,06	2,91	5,71	6,37	
653	268390	9288698	3,46	5,35	8,13	10,08	0,74	2,21	3,95	7,86	
654	268286	9288727					0,66	1,93	4,71	5,51	
655	268314	9288831	3,95	6,59	7,88	8,66	0,68	1,74	2,75	4,16	
656	268345	9288923					0,32	0,81	2,41	2,88	
657	268383	9289020	3,61	6,68	8,26	8,46	0,77	2,95	5,28	5,71	
658	268417	9289114					1,03	1,76	3,60	4,13	
Talhão 51											
659	268194	9289135	4,35	7,04	8,11	9,02	0,59	1,02	2,30	2,30	
660	268209	9288923					1,29	1,68	3,52	5,01	
661	268210	9289069	5,97	6,45	8,43	9,38	0,99	1,77	4,08	7,95	
662	268282	9289041					0,95	2,62	6,42	7,85	
663	268243	9288936	4,09	5,56	8,17	9,91	0,63	1,82	3,58	7,47	
665	268166	9288854	3,85	5,90	8,31	8,38	0,64	1,26	3,39	5,03	
666	268243	9288831					0,63	2,19	4,92	5,04	
667	268204	9288738	5,24	6,07	6,65	8,15	0,88	1,60	2,26	3,56	
Talhão 56											
668	268797	9289106	4,38	5,51	6,07	7,45	1,28	2,34	3,97	6,30	
669	268616	9289134					1,04	1,70	3,00	5,49	
670	268672	9289238	4,89	6,90	7,84	8,99	1,00	2,63	4,23	7,42	
671	268782	9289203					0,89	2,48	4,34	5,45	
672	268758	9289320	2,90	5,35	8,43	8,58	0,59	1,29	2,88	7,10	
673	268681	9289344					0,85	2,50	5,70	9,27	
674	268744	9289413	3,24	4,87	8,20	9,13	2,36	1,99	2,92	9,48	
675	268832	9289438					1,05	1,50	2,96	7,10	
678	268776	9289616	4,25	5,90	6,72	7,45	7,69	9,00	10,15	12,96	
679	268880	9289590					0,81	2,50	4,69	7,40	
680	268912	9289676	4,84	4,35	6,85	8,22	6,57	7,11	8,48	11,56	
Talhão 55											
681	268612	9289539	3,28	6,70	7,76	9,02	0,69	4,50	6,03	7,34	
682	268501	9289490					0,60	1,43	2,04	3,82	
683	268467	9289392	6,12	6,79	6,98	8,50	0,26	0,63	7,68	12,02	
684	268570	9289360					0,22	2,09	8,82	12,04	
685	268512	9289269	3,17	4,50	6,31	7,80	1,16	2,27	3,54	3,86	
686	268442	9289295					0,65	1,96	3,01	4,59	
687	268410	9289203	3,43	5,74	7,25	10,41	0,93	5,55	6,95	8,14	
688	268539	9289157					1,06	2,56	4,74	6,98	
Talhão 54											
689	268328	9289230	3,61	6,54	7,99	7,95	0,83	2,89	3,35	6,02	
690	268231	9289260					6,82	6,83	2,07	2,77	
691	268273	9289355	1,69	8,33	7,61	8,56	0,85	2	10,88	12,73	
692	268385	9289323					3,96	5,65	5,83	8,21	
693	268387	9289438	3,95	6,04	7,11	8,45	0,79	2,21	11,96	12,79	
694	268260	9289433					0,38	1,29	4,21	12,88	

Figura 01- Semivariograma da RSP nas quatro profundidades estudadas

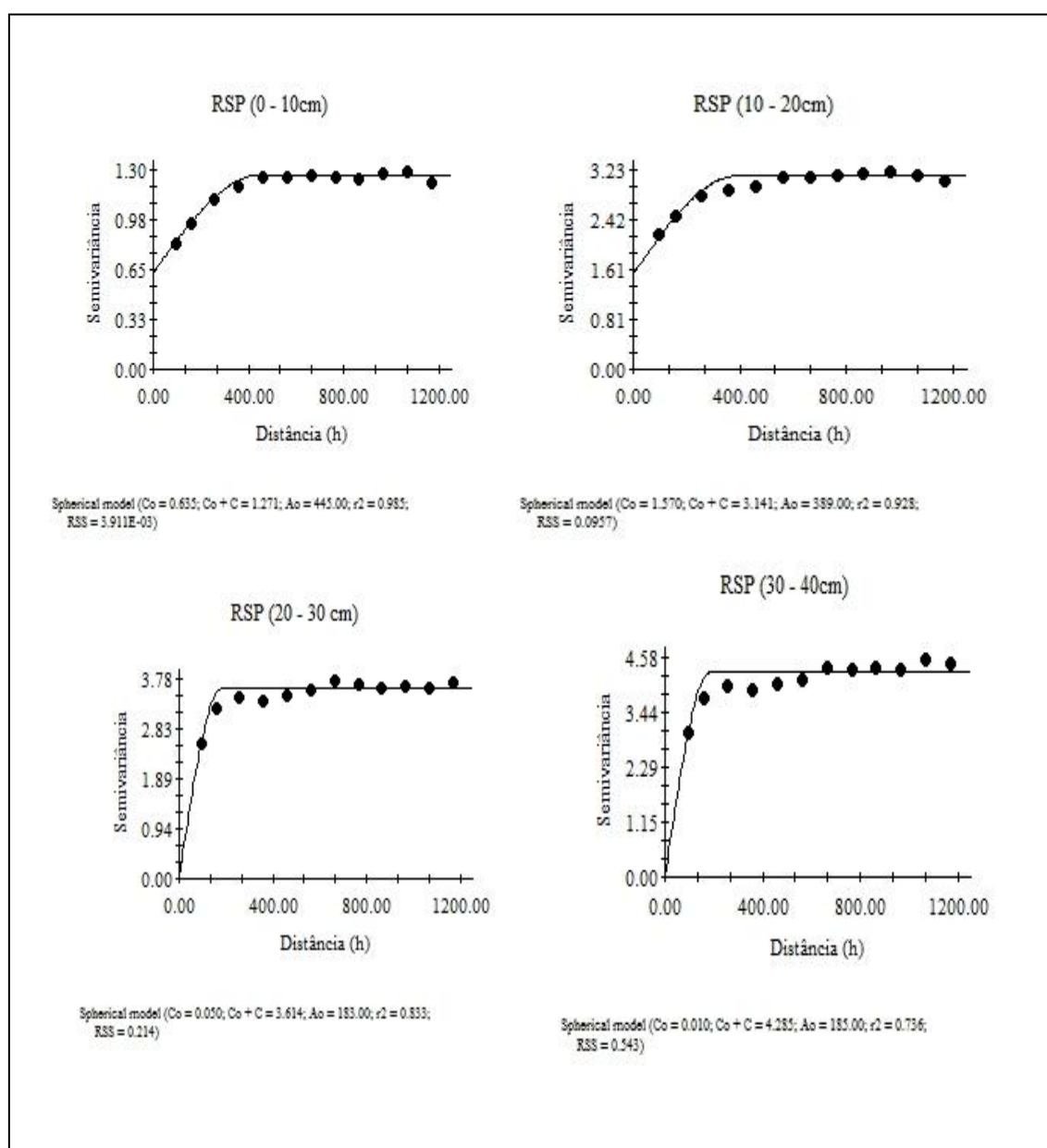


Figura 02 - Semivariograma do teor de água no solo nas quatro profundidades estudadas.

