



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

JONATAN LEVI FERREIRA DE MEDEIROS

**MANEJO DA VEGETAÇÃO DE COBERTURA, QUANTIFICAÇÃO DA  
FITOMASSA E VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA DO SOLO EM PLANTIO  
DIRETO IRRIGADO NO SEMIÁRIDO POTIGUAR**

MOSSORÓ

2019

JONATAN LEVI FERREIRA DE MEDEIROS

**MANEJO DA VEGETAÇÃO DE COBERTURA, QUANTIFICAÇÃO DA  
FITOMASSA E VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA DO SOLO EM PLANTIO  
DIRETO IRRIGADO NO SEMIÁRIDO POTIGUAR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Manejo de Solo e Água na Agricultura

Orientador: Prof. Dr. Suedêmio de Lima Silva

MOSSORÓ

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas  
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M488m Medeiros, Jonatan Levi Ferreira de.

Manejo da vegetação de cobertura, quantificação da fitomassa e variabilidade da resistência do solo em plantio direto irrigado no Semiárido Potiguar / Jonatan Levi Ferreira de Medeiros.-

2019.

70 f. : il.

Orientador: Suedêmio de Lima. Silva.  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, 2019.

1. Manejo do Solo. 2. Variabilidade espacial. 3. Compactação do solo. 4. Zea mays. I. Silva, Suedêmio de Lima, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JONATAN LEVI FERREIRA DE MEDEIROS

**MANEJO DA VEGETAÇÃO DE COBERTURA, QUANTIFICAÇÃO DA  
FITOMASSA E VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA DO SOLO EM PLANTIO  
DIRETO IRRIGADO NO SEMIÁRIDO POTIGUAR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Manejo de Solo e Água na Agricultura

Defendida em: 22 / 01 / 2019

**BANCA EXAMINADORA**



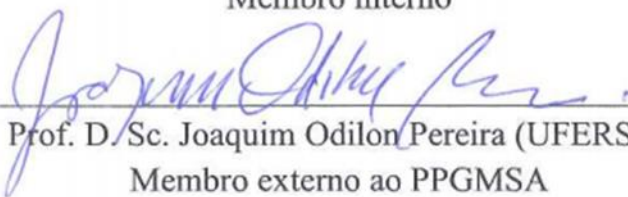
Prof. D. Sc. Suedêmio de Lima Silva (UFERSA)

Presidente da banca examinadora



Prof. D. Sc. Neyton de Oliveira Miranda (UFERSA)

Membro interno



Prof. D. Sc. Joaquim Odilon Pereira (UFERSA)

Membro externo ao PPGMSA



Prof. D. Sc. Wesley de Oliveira Santos (UFERSA)

Membro Externo ao PPGMSA



Dr. Edmilson Gomes Cavalcante Junior

Membro Externo à UFERSA

*In Memoriam de Victor Moreira de Medeiros meu anjo protetor.*

*Dedico esta realização  
profissional a todas as pessoas que tive o  
prazer de conviver e ao meu maior amor  
Vinícius Moreira de Medeiros.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao criador da vida, por ter feito sua obra tão perfeita e por ser meu amparo nas horas que mais preciso.

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 Doutorado.

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

Ao Professor D. Sc. Suedêmio da Lima Silva pela orientação, incentivo, profissionalismo e dedicação e ao Grupo de Pesquisa da Mecanização e Automação Agrícola (GP-MAA).

Ao Professor D. Sc. Neyton de Oliveira Miranda e ao Prof. Dr. Joaquim Odilon Pereira pelo apoio, incentivo e orientação em toda caminhada.

Agradeço a Banca Examinadora por contribuir com a qualidade final desse 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!**

“Plantar para ter a oportunidade de colher,  
projetar para poder construir e sonhar para que  
se possa realizar”.

## RESUMO

A evolução do Sistema Plantio Direto (SPD), principalmente quanto ao manejo de formação da palhada, é muito influenciada pelo ambiente. O objetivo do trabalho foi avaliar a acumulação de fitomassa, o desempenho produtivo do milho irrigado e a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) após a implantação do SPD. A pesquisa foi desenvolvida entre setembro de 2016 e setembro de 2017, quando o solo sofreu mobilização mínima e as plantas de cobertura foram manejadas com corte e trituração a uma altura aproximada de 5,0 cm. As variáveis determinadas foram a quantidade de biomassa seca, pelo método do quadrado; a porcentagem da área coberta, obtida por meio de imagens digitais processadas em redes neurais; a produtividade por hectare do milho e a RMSP, determinada por penetrômetro automático. Uma malha de amostragem com pontos distribuídos de forma regular foi estabelecida na área experimental de 6.300 m<sup>2</sup> para identificar a variabilidade espacial da RMSP, da Massa Seca (MS) e da produtividade de milho por meio de procedimentos de geoestatística. Inicialmente foram ajustados semivariogramas, cujos parâmetros foram usados no processo de interpolação por krigagem ordinária, pelo qual se estimou os valores das variáveis nos pontos não amostrados, permitindo a confecção dos mapas temáticos de cada variável. Um experimento em blocos ao acaso com cinco repetições foi desenvolvido para verificar o efeito dos tratamentos (T1 = milheto, T2 = crotalária juncea, T3 = vegetação espontânea, T4 = sorgo e T5 = sorgo e crotalária juncea) sobre a MS das plantas de cobertura, a produtividade do milho e o Percentual de Área Coberta (PAC). Estas variáveis tiveram seus dados analisados por meio da análise de variância e suas médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os semivariogramas ajustados confirmaram a existência de dependência espacial das variáveis, entre as quais a RMSP se ajustou predominantemente ao modelo esférico, enquanto que o modelo gaussiano foi o de melhor ajuste para produtividades de grãos e fitomassa. A adoção do SPD contribuiu para a diminuição dos valores da RMSP, condicionando o ambiente ao bom desenvolvimento das raízes. As maiores quantidades de fitomassa para cobertura do solo foram proporcionadas por crotalária e sorgo. A confirmação de que o manejo utilizado caracterizou a adoção do SPD na região semiárida do Rio Grande do Norte foi obtida por meio da quantificação da fitomassa sobre o solo e do PAC, por meio de imagens aéreas.

**Palavras chave:** Manejo do solo, variabilidade espacial, compactação do solo, *Zea mays*.



## ABSTRACT

The evolution of the No-Till System (NTS), mainly regarding straw formation management, is very influenced by the environment. The objective of this work was to evaluate the phytomass accumulation over the soil, the productive performance of the irrigated maize, and the soil mechanical penetration resistance (SMPR) after the NTS implantation. The research was carried out between September 2016 and September 2017, when the soil underwent minimal mobilization and the cover plants were managed with cutting and grinding at an approximate height of 5.0 cm. The determined variables were the amount of dry phytomass over the soil, by the square method; the percentage of the area covered, obtained through digital images processed in neural networks; yield per hectare of maize, and SMPR, determined by an automatic penetrometer. A regularly distributed sampling grid was established in the 6,300 m<sup>2</sup> experimental area to identify, through geostatistic procedures, the spatial variability of SMPR, dry phytomass (DFM), and maize yield. Initially, semivariograms were adjusted, whose parameters were used in the ordinary kriging interpolation process, by which the values of the variables in the non-sampled points were estimated, allowing the drawing of thematic maps of each variable. A randomized complete block experiment with five replicates was developed to verify the effect of treatments (T1 = millet, T2 = crotalaria juncea, T3 = spontaneous vegetation, T4 = sorghum and T5 = sorghum and crotalaria juncea) on corn yield and Percentage of Covered Area (PCA). These variables had their data analyzed through analysis of variance and their means were compared by the Tukey test at 5% probability. The adjusted semivariograms confirmed the existence of spatial dependence of the variables, among which the SMPR adjusted predominantly to the spherical model, whereas the Gaussian model was the one of better fit for grain yield and phytomass. The adoption of the NTS contributed to the decrease of the SMPR values, conditioning the environment to the good development of the roots. The greatest amounts of phytomass for soil cover were provided by sunflower and sorghum. The confirmation that the management used characterized the adoption of NTS in the semiarid region of Rio Grande do Norte was obtained through the quantification of the phytomass over the soil, and of the PCA, through aerial images.

**Keywords:** Soil management, spatial variability, soil compaction, *Zea mays*.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1 – MANEJO E QUANTIFICAÇÃO DA COBERTURA DO SOLO NA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO IRRIGADO NO SEMIÁRIDO E SUA INFLUÊNCIA NA PRODUTIVIDADE DO MILHO

- Figura 1 – Distribuição espacial das variáveis amostrados para a Massa Seca e Produtividade do Milho em Mossoró-RN.....34
- Figura 2 – Croqui da área experimental apresentando os tratamentos referentes às plantas de cobertura, Mossoró-RN.....34
- Figura 3 – Semivariogramas ajustados para as condições de produtividade massa seca da vegetação espontânea (A), massa seca das plantas de cobertura (B), massa seca do milho (C) e produtividade de grão do milho (D) em Mossoró-RN, 2019.....41
- Figura 4 – Produtividade de massa seca após o manejo inicial na vegetação espontânea (MS\_VE). Coordenadas UTM – Datum; WGS 84, zona 24S e escala de 1:600. Mossoró/RN.....42
- Figura 5 – Produtividade de massa seca após o manejo das plantas de cobertura (MS\_PC). Coordenadas UTM – Datum; WGS 84, zona 24S e escala de 1:600. Mossoró/RN.....43
- Figura 6 – Produtividade de fitomassa seca após o cultivo do milho e manejo da cobertura do solo (MS\_Milho). Coordenadas UTM – Datum; WGS 84, zona 24S e escala de 1:600. Mossoró/RN.....44
- Figura 7 – Exemplo do processamento em redes neurais no SisCob 1.0. (A); imagem real da parcela 1 tomada a aproximadamente 20 m de altura, (B); Processamento da imagem na qual: Amarelo = Palhada (89,94%), Vermelho = Solo Descoberto (2,56%) e Verde = Vegetação Remanescente (7,49%).....45
- Figura 8 – Produtividade de grãos de milho da variedade BRS gorutuba em kg.ha<sup>-1</sup> sob o Sistema de Plantio Direto. Coordenadas UTM – Datum; WGS 84, zona 24S e escala de 1;600. Mossoró/RN.....46

### CAPÍTULO 2 - VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO E DA FITOMASSA NA TRANSIÇÃO PARA O SISTEMA PLANTIO DIRETO

- Figura 1 – Distribuição espacial dos pontos de amostragem de Resistência do Solo à Penetração e de fitomassa seca. Mossoró-RN.....57

- Figura 2 – Fluxograma das principais etapas de manejo realizadas para a formação da cobertura do solo e cultivo do milho em Mossoró-RN.....58
- Figura 3 – Práticas e equipamentos para o manejo da área e coleta de dados: A - Manejo da vegetação com triturador horizontal – triton; B - Trado caneca e marreta para retirada do solo; C - Latas de alumínio para secagem do solo em estufa; D – Quadro de coleta e saco de papel para a cobertura vegetal; E – Penetrômetro automático.....59
- Figura 4 – Mapas dos teores de RMSP em KPa na fase inicial e final do manejo adotado. RMSP na fase inicial para as camadas; A- 0 à 10 cm, B- 10 à 20 cm, C- 20 à 30 cm e D- 30 – 40 cm e RMSP na fase final para as camadas; E- 0 à 10 cm, F- 10 à 20 cm, G- 20 à 30 cm e H- 30 à 40 cm. Coordenadas UTM – Datum; WGS 84, zona 24S e escala de 1;1500, Mossoró-RN.....64
- Figura 5 – Representação gráfica da média dos 90 pontos da RMSP a cada centímetro de profundidade, após o manejo inicial (A) e final (B) do solo em área sob SPD.....66
- Figura 6 – Quantidade de massa seca de cobertura do solo em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  após o manejo inicial do Sistema de Plantio Direto (A) e após o manejo final. Coordenadas UTM – Datum; WGS 84, zona 24S e escala de 1;1000. Mossoró-RN.....67

## LISTA DE QUADROS

### **CAPÍTULO 1 – MANEJO E QUANTIFICAÇÃO DA COBERTURA DO SOLO NA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO IRRIGADO NO SEMIÁRIDO E SUA INFLUÊNCIA NA PRODUTIVIDADE DO MILHO**

Quadro 1	–	Índices utilizados no plantio das espécies para a cobertura do solo no Sistema de Plantio Direto .....	35
----------	---	--	----

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO 1 - MANEJO E QUANTIFICAÇÃO DA COBERTURA DO SOLO NA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO IRRIGADO NO SEMIÁRIDO E SUA INFLUÊNCIA NA PRODUTIVIDADE DO MILHO**

- Tabela 1 – Estatística descritiva e teste de normalidade das variáveis de Massa Seca (MS) em Vegetação Espontânea (VE), Plantas de cobertura (PC) e Milho e da variável Produtividade do Milho (Prod\_M1) .....39
- Tabela 2 – Parâmetros dos semivariogramas para as variáveis Massa Seca (MS) em Vegetação Espontânea (VE), Plantas de cobertura (PC), Milho e para variável Produtividade do Milho (Prod\_M1) .....40
- Tabela 3 – Médias das variáveis de cobertura do solo, após o manejo da fitomassa com triturador horizontal, e produtividade do milho, após o cultivo das plantas de cobertura .....44

### **CAPÍTULO 2 - VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO E DA FITOMASSA NA TRANSIÇÃO PARA O SISTEMA PLANTIO DIRETO**

- Tabela 1 – Estatística descritiva e teste de normalidade das variáveis resistência mecânica do solo a penetração (RMSP) nas quatro profundidades e fitomassa seca (MS) na fase inicial e final do manejo.....62
- Tabela 2 – Parâmetros dos modelos ajustados dos semivariogramas para as variáveis RMSP, nas quatro profundidades, e MS na fase inicial e final do manejo no Sistema de Plantio Direto.....63
- Tabela 3 – Intervalos de valores de Resistência do Solo à Penetração (RMSP) para cada camada, respectiva classificação de impedimento ao desenvolvimento radicular MSP e teor médio de água do solo ao início e ao final do manejo no Sistema de Plantio Direto.....65

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL .....	16
2	REVISÃO DE LITERATURA .....	18
2.1	Sistema Plantio Direto (SPD) .....	18
2.2	Característica do SPD no Brasil e seu desenvolvimento no semiárido .....	19
2.3	Sistema plantio direto irrigado no semiárido brasileiro e formação da palhada .....	20
2.4	Requisitos para o SPD e análise dos atributos .....	21
	REFERÊNCIAS .....	24

### **CAPÍTULO 1 – MANEJO E QUANTIFICAÇÃO DA COBERTURA DO SOLO NA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO IRRIGADO NO SEMIÁRIDO E SUA INFLUÊNCIA NA PRODUTIVIDADE DO MILHO .....**

**29**

1	INTRODUÇÃO .....	31
2	MATERIAL E MÉTODOS .....	33
2.1	Característica da área experimental .....	33
2.2	Manejo adotado .....	35
2.3	Estatística descritiva e geoestatística das variáveis investigadas .....	36
2.4	Estatística experimental das variáveis investigadas .....	38
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
4	CONCLUSÃO.....	47
	REFERÊNCIAS.....	48

### **CAPÍTULO 2 – VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO E DA FITOMASSA NA TRANSIÇÃO PARA O SISTEMA PLANTIO DIRETO .....**

**52**

1	INTRODUÇÃO .....	54
2	MATERIAL E MÉTODOS .....	56
2.1	Característica da área experimental .....	56
2.2	Manejo adotado .....	57
2.3	Variáveis analisadas .....	58
2.4	Estatística descritiva e geoestatística das variáveis investigadas .....	59
3	Resultados e discussão .....	62
4	CONCLUSÃO .....	68

	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>69</b>
<b>3</b>	<b>CONCLUSÃO GERAL.....</b>	<b>72</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

No sistema plantio direto, umas das prioridades é mobilizar o mínimo possível a estrutura física e a vida biológica do solo, mantendo toda a cobertura morta dos resíduos de colheitas anteriores ou mesmo aquelas culturas dessecadas para esse fim. O aprimoramento do SPD, em função das condições regionais e até mesmo locais em que é praticado, cria identidade regional conforme a oferta ambiental, principalmente, no desenvolvimento das espécies vegetais de interesse.

O Brasil já ultrapassou 30.000.000 hectares de área plantada sob plantio direto (Motter & Almeida, 2015). Esse grande avanço acontece devido a combinações favoráveis de espécies vegetais, grande parte produtoras de grãos e adequadas para a formação da palhada, adubação e estruturação do solo (Silva et al., 2009). Para a região semiárida faz-se necessário a escolha de uma cultura com relação Carbono/Nitrogênio (C/N) adequada, para que, durante a formação da palhada não se tenha uma elevada taxa de decomposição. O motivo são as altas temperaturas, aliadas à umidade proporcionada pela alta intensidade de chuvas no verão, ou sob cultivo irrigado, que aceleram a decomposição dos resíduos (Cysne Júnior et al., 2012). A utilização de espécies de cobertura para a formação de palha é um requisito fundamental para implantação e manutenção do sistema plantio direto. Nesse aspecto, para região Semiárida, pouco conhecimento foi desenvolvido.

Na região do semiárido potiguar, com ou sem irrigação, os produtores normalmente, em seus cultivos, utilizam o preparo convencional do solo, mesmo com os inúmeros problemas apresentados. No modelo de cultivo convêncional a superfície do solo é totalmente alterada e a vegetação de cobertura é incorporada, o que deixa, o ambiente exposto e a área submissa a processos degradativos. Portanto, práticas adequadas de manejo do solo são necessárias para uma maior sustentabilidade do ambiente agrícola.

Na seleção de espécies de cobertura é interessante que a cultura escolhida possua elevada produção de fitomassa, capacidade de acumular nutrientes, principalmente, nitrogênio e fósforo, rusticidade e alta tolerância ao déficit hídrico, efeito alelopático sobre as plantas daninhas, sem prejuízo à cultura principal, crescimento inicial rápido e relação C/N adequada com baixa taxa de decomposição (Barcellos et al., 2015). Uma relação C/N entre 20 e 30 é adequada a formação da palhada e é necessário obter-se, pelo menos, 50% da superfície do solo coberta e, no mínimo, 6 t.ha<sup>-1</sup> de resíduos (Alvarenga et al., 2001).

Após o manejo do SPD empregado e os quantitativos mínimos de cobertura estabelecidos é fundamental uma investigação periódica da fitomassa, dos atributos do solo e



do desenvolvimento da cultura de interesse. Segundo Amado et al. (2009) o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo e da cultura é uma ferramenta significativa para analisar a capacidade produtiva e aperfeiçoar o manejo. A avaliação da qualidade física do solo, de preferência visando ao seu uso, o manejo e planejamento sustentável, deve ser feito por meio de propriedades físicas de fácil mensuração, como a resistência à penetração (Vasconcelos et al., 2012).

A pesquisa tem por objetivo avaliar a resistência mecânica do solo a penetração (RMSP) nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30 á 40 cm, bem como, a formação da fitomassa e o desempenho produtivo do milho na implementação do SPD em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico argissólico da região semiárida do Brasil sob sistema irrigado.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Sistema Plantio Direto (SPD)

Em ambientes tropicais, o Sistema Plantio Direto (SPD) é uma forma de manejo bastante favorável às áreas de cultivo, uma vez que ajuda a manter a estrutura do solo, minimizando os efeitos da degradação comumente observadas pelas técnicas praticadas no sistema de cultivo convencional. Mesmo com os inúmeros problemas apresentados, os produtores normalmente, em seus cultivos, utilizam o preparo convencional do solo. No modelo de cultivo convênçãoal a superfície do solo é totalmente alterada por arações e gradagens e a vegetação de cobertura é incorporada, o que deixa, o ambiente exposto e a área submissa a processos degradativos. Em síntese essa degradação acontece em virtude do monocultivo; da remoção da vegetação original; da utilização de pesticidas e herbicidas que prejudicam a atividade biológica dos solos; da baixa cobertura vegetal; da compactação do solo, devido trafego asentuado de máquinas; da depleção da matéria orgânica e da ausência de medidas de controle à erosão do solo (Johnsen et al., 2001; Ciampalini et al., 2012; Pelosi et al., 2013; Arnáez et al., 2015; Carr et al., 2015; Laudicina et al., 2015; Tarolli et al., 2015). Portanto, práticas adequadas de manejo do solo são necessárias para uma maior sustentabilidade do ambiente agrícola.

A prática de manejo conservacionista, conhecida como Sistema Plantio Direto (SPD) comprovadamente potencializa a capacidade produtiva do solo. Pois, diminue a velocidade de decomposição da cobertura vegetal, acumulando a matéria orgânica e aumentando o teor de C orgânico total, que estabiliza a estrutura do solo, pelo efeito cimentante na formação e manutenção dos agregados (Barreto et al., 2009).

A palhada que recobre o solo representa a essência do SPD com funções importantes em manter a umidade do solo ao reduzir a evaporação (efeito mulch); agir como reciclador de nutrientes, assegurando alta atividade biológica; aumentar a matéria orgânica no perfil do solo melhorando a CTC e a estrutura física do solo; ajudar no controle de plantas daninhas seja pela barreira física ou pela liberação de substâncias alelopáticas (Saturnino & Landers 1997; Silva et al., 2009). Conforme averiguações de Prosdocimi et al. (2016) o efeito mulching potencializa a capacidade produtiva do solo. Favorece o aumento da infiltração e do armazenamento de água (Cook et al., 2006; Mulumba & Lal, 2008); proteção do solo contra o impacto dos pingos de chuva, reduzindo as taxas de erosão (Blavet et al., 2009; Jordán et al., 2010; Sadeghi et al., 2015); diminui as concentrações de sedimentos e nutrientes no escoamento (Prosdocimi et al., 2016); diminui a velocidade do fluxo de água no processo

inicial do escoamento superficial, aumento da rugosidade (Cerdà, 2001; Jordán et al., 2010); melhora a capacidade de infiltração (Jordan et al., 2010; Wang et al., 2014), aumenta a atividade de alguns organismos indicadores da qualidade do solo e desempenho da cultura (Wooldridge & Harris, 1991). A melhoria nas condições físicas do solo proporciona melhoria na estrutura do solo e teor de matéria orgânica (Karami et al., 2012), redução da temperatura na camada superficial do solo para a germinação ótima e o desenvolvimento das raízes (Dahiya et al., 2007), diminuição da evaporação (Uson & Cook, 1995) e o aprimoramento das interações com nutrientes (Campiglia et al., 2014).

O SPD vem sendo amplamente utilizado para recuperar a capacidade produtiva do solo, bem como, contribuir na redução de emissões de gases do efeito estufa do solo para a atmosfera, a transferência (sequestro) de carbono da atmosfera ao solo, contribuindo para mitigação dos impactos das mudanças climáticas globais, além da proteção dos mananciais e dos reservatórios hídricos (Silva et al., 2009).

## **2.2 Característica do SPD no Brasil e seu desenvolvimento no semiárido**

No Brasil, os avanços da ciência agrícola sobre o cultivo de plantas direto na palha associado a políticas públicas de incentivo e a evolução das máquinas, implementos agrícolas e herbicidas, favoreceu a ampliação do SPD, principalmente a partir da década de 80, inicialmente pelos agricultores da região Sul e depois para outras regiões do Brasil (Motter & Almeida, 2015). Já na segunda metade da década de 90, as pesquisas referentes ao acúmulo de matéria orgânica do solo, à mineralização dos resíduos das culturas em rotação, à calagem na superfície, o modo de aplicação dos adubos, à distribuição dos nutrientes no perfil e à variabilidade dos atributos de fertilidade no solo, começou a fornecer critérios mais adequados às características e propriedades do solo no SPD (Silva et al., 2009).

O Brasil já ultrapassou 30.000.000 de hectares de área plantada sob plantio direto (Motter & Almeida, 2015). Esse grande avanço acontece devido a combinações favoráveis de espécies vegetais, grande parte produtoras de grãos e adequadas para a formação da palhada, adubação e estruturação do solo (Silva et al., 2009). O aprimoramento desse manejo de cultivo, em função das condições regionais e até mesmo locais em que é praticado, cria identidade regional conforme a oferta ambiental, principalmente, dos fatores de desenvolvimento das espécies vegetais de interesse. Para o plantio direto, a região semiárida, devido às elevadas temperaturas associadas com a baixa umidade, faz-se necessário a escolha de uma cultura com relação Carbono/Nitrogênio (C/N) adequada, para que, durante a formação da palhada não se tenha uma elevada taxa de decomposição (Cysne Júnior et al.,

2012). A utilização de espécies de cobertura para a formação de palha é um requisito fundamental para implantação e manutenção do sistema plantio direto. Nesse aspecto, para região Semiárida, pouco conhecimento foi desenvolvido.

A região Semiárida do Brasil se estende meridionalmente de 3°S a 17°S, com extensão de 969.589,4 km<sup>2</sup>, abrangendo aproximadamente 58% da superfície do Nordeste e tem como característica principal a precipitação média anual variar entre 400 e 800 mm, possuir temperaturas acima de 23°C, e evapotranspiração acima de 2000 mm/ano (Magalhães et al., 1987; Moscati & Gan, 2007). Neste ambiente, a irregularidade pluvial torna a agricultura uma atividade de alto risco. De forma geral, quando não são empregadas estratégias adequadas para o uso eficiente da água, o semiárido brasileiro possui limitações na utilização para o consumo humano e para a produção agropecuária. Outro aspecto relevante que potencializa essa ineficiência são as atividades antrópicas de remoção da vegetação da Caatinga para a exploração inadequada da agropecuária e atividades industriais (Morais et al., 2015). Porém, quando irrigado, o potencial agrícola do semiárido é surpreendente, principalmente devido a predominância da alta incidência luminosa durante todo ano. Essas características possibilitam uma gestão de produção agrícola bem distribuída no tempo.

### **2.3 Sistema Plantio Direto irrigado no semiárido brasileiro e formação da palhada**

Para sistemas de plantio sob o efeito da irrigação, a alta umidade associada com as elevadas temperaturas favorece a ação dos microrganismos que atuam na decomposição vegetal. Contudo, o carbono orgânico do solo aumenta, devido à decomposição da grande quantidade de resíduos e sua mineralização (Giubergia et al., 2013). A irrigação, entre outros, altera o ambiente no que diz respeito ao teor de matéria orgânica (Keil & Mayer, 2014), o tamanho de partícula (Sandler, 2013) e a presença ou ausência de carbonato de cálcio (Blecker et al., 2013). Além disso provoca mudanças nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Giubergia et al., 2013). Entretanto, na região do semiárido, com ou sem irrigação, os produtores normalmente, em seus cultivos, utilizam o preparo convencional do solo, mesmo com os inúmeros problemas apresentados. Por estas razões, práticas adequadas de manejo do solo são necessárias para uma maior sustentabilidade dos ambientes agrícolas.

Comparando o manejo convencional do solo e o plantio direto em regiões semiáridas do Brasil, sob efeito da irrigação, tem-se a superioridade do plantio direto na melhoria dos indicadores físicos do solo (Sales et al., 2016), menor infestação da vegetação espontânea e maior produtividade de frutos de melancia (Silva et al., 2013), maior produtividade do pimentão quando associado a capinas (Coelho et al., 2013), melhoria na eficiência do uso da

água na produção do melão (Teófilo et al., 2012) e de milho sob efeitos de veranicos (Silva et al., 2015).

Em regiões semiáridas do leste da turquia (baixas temperaturas), o plantio direto auterou as propriedades físicas do solo elevando a densidade na faixa de cultivo, a resistência à penetração e umidade na capacidade de campo, e reduzindo a porosidade total e infiltração de água (Gozubuyuk et al., 2014). Conforme os resultados de Muñoz et al. (2007) em dois anos de plantio direto de milho irrigado no semiárido espanhol, os atributos físicos, químicos e biológicos do solo melhoram significativamente, havendo aumento no conteúdo de água, do carbono orgânico, nitrogênio, da população microbiana e estabilidade de agregados. Essa situação é resultado do acúmulo do carbono orgânico, cujas propriedades agregantes superam o efeito dispersante do sódio nestes sistemas (Giubergia et al., 2013).

Na seleção de espécies de cobertura é interessante que a cultura escolhida possua elevada produção de fitomassa, capacidade de acumular nutrientes, principalmente, nitrogênio e fósforo, rusticidade e alta tolerância ao déficit hídrico, efeito alelopático sobre as plantas daninhas, sem prejuízo à cultura principal, crescimento inicial rápido, relação C/N adequada com baixa taxa de decomposição (Barcellos et al., 2015).

Alvarenga et al. (2001) considera uma relação C/N entre 20 e 30 adequada a formação da palhada. Nesse aspecto algumas espécies vegetais são tidas como clássicas para desempenhar a função de cobertura do solo e formação da palhada para o sistema plantio direto. Na maioria das pesquisas para a região semiárida do Brasil tem-se o emprego de dois grupos principais, as poaceas (milheto, sorgo, milho e braquiárias), tidas como adequadas na produção de fitomassa, e as fabáceas (feijão-de-porco, crotalária, feijão-guandu, feijão caupi e mucunas) que possuem a característica de imobilizarem nos seus tecidos o nitrogênio da fixação biológica. Porém, os melhores arranjos entre essas espécies, as combinações com as culturas de interesse e o tempo de formação da palhada ainda são desafios nos diversos ambientes do semiárido brasileiro (Wutke et al., 2014).

#### **2.4 Requisitos para o SPD e análise dos atributos**

A taxa de decomposição dos resíduos vegetais modifica a cobertura do solo ao longo do tempo, sendo importante o cultivo de plantas especializadas na produção de fitomassa para incrementar a cobertura deixada pela cultura de interesse. Igualmente importante é a distribuição dos resíduos sobre o solo que deve ser a mais uniforme possível. Para ser considerado SPD é preciso obter-se pelo menos 50% da superfície do solo coberta com resíduos (Alvarenga et al., 2001).

O sucesso do SPD reside no fato de que a palha deixada por culturas de cobertura sobre a superfície do solo, somada aos resíduos das culturas comerciais, cria um ambiente extremamente favorável ao crescimento vegetal e contribui para a estabilização da produção e para a recuperação ou manutenção da qualidade do solo (Alvarenga et al., 2001). Neste contexto, é fundamental a seleção de plantas para a cobertura do solo que sejam adaptadas as variações edafoclimáticas da região e que se ajustem melhor aos sistemas de rotação de culturas. Segundo Cruz et al. (2001), a palhada formada após a colheita da maioria das espécies produtoras de grãos é insuficiente para promover a ampla cobertura do solo. Isso reforça a necessidade de incluir plantas de cobertura no sistema.

A quantidade de palha sobre o solo e a uniformidade da sua distribuição podem servir de referência para uma avaliação preliminar sobre as condições nas quais o SPD se desenvolve. Alvarenga et al., (2001) considera que  $6 \text{ t.ha}^{-1}$  de resíduos sobre a superfície seja uma quantidade adequada ao SPD, com a qual consegue-se boa taxa de cobertura do solo. Entretanto, dependendo do tipo de planta, da região e das condições edafoclimáticas, essa quantidade pode variar bastante em função das facilidades ou dificuldades de produção de fitomassa ou da taxa de decomposição.

Mulumba & Lal (2008) determinaram uma taxa de cobertura morta ideal de  $4 \text{ t.ha}^{-1}$  para aumentar a porosidade e  $8 \text{ t.ha}^{-1}$  para aumentar a capacidade de água disponível do solo, retenção de umidade e estabilidade de agregados. Jordan et al. (2010) constataram que uma taxa de cobertura do solo de  $5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  tonaram insignificantes o efeito do escoamento de sedimentos e a concentração de fluxo sob enxurrada em um Neossolo Flúvico no semiárido do sudoeste espanhol.

Após o manejo do SPD empregado e os quantitativos mínimos de cobertura estabelecidos é fundamental uma investigação periódica da fitomassa, dos atributos do solo e do desenvolvimento da cultura de interesse. Segundo Amado et al. (2009) o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo e da cultura é uma ferramenta significativa para analisar a capacidade produtiva e aperfeiçoar o manejo. Nesse caso, já que o SPD consiste em uma prática conservacionista, é de fundamental importância a realização de um gerenciamento agrícola georeferenciado, pois as informações são pontuais e correlatas.

O desenvolvimento de mapas temáticos para caracterizar áreas de manejo ajudam a melhor tomada de decisão, pois facilita o entendimento de sua variabilidade no ambiente de produção (Batista, 2012). O mercado constantemente desenvolve tecnologias para facilitar e ampliar o entendimento sobre a eficiência do manejo aplicado no meio agrícola. A integração destas tecnologias, potencializou a busca em disponibilizar ferramentas interativas de apoio à

tomada de decisão de maneira acessíveis e eficientes, para maximizar os benefícios econômicos, ambientais e sociais do manejo utilizado (Mccown et al., 2006). O desenvolvimento de tecnologias e serviços 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).

A caracterização da autocorrelação espacial das variáveis e a organização de sua estrutura em mapas de localização é função básica da geoestatística (Yamamoto & Landim, 2015). Sua diferença com relação a estatística clássica é que a consideração dos valores de uma variável está diretamente relacionados à sua localização (Grego; Oliveira; Vieira, 2014). Em síntese, espera-se que observações próximas apresentem leituras mais semelhantes do que aquelas separadas por distâncias maiores (Oliveira; Grego; Brandão. 2015).

## REFERÊNCIAS

- Alvarenga, R. C.; Cabezas, W. A. L.; Cruz, J. C.; Santana, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. Informe Agropecuário, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.
- Amado, T. J. C.; Pes, L. Z.; Lemainski, C. L.; Schenato, R. B. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.33, p.831-843, 2009.
- Arnáez, J.; Lana-Renault, N.; Lasanta, T.; Ruiz-Flaño, P.; Castroviejo, J. Effects of farming terraces on hydrological and geomorphological processes. A review. Catena, v. 128, p. 122-134, 2015.
- Barcellos, M.; Motta, A. C.; Pauletti, V.; da Silva, J. C. P. M.; Barbosa, J. Z. Atributos químicos de Latossolo sob plantio direto adubado com esterco de bovinos e fertilizantes minerais. Comunicata Scientiae, v. 6, n. 3, p. 263-273, 2015.
- Barreto, R. C.; Madari, B. E.; Maddock, J. E.; Machado, P. L.; Torres, E.; Franchini, J., & Costa, A. R. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO<sub>2</sub> in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 132, p. 243-251, 2009.
- Batista, F. F. Influência de modelos de dependência espacial na definição de mapas temáticos. Viçosa: Dissertação de Mestrado. UFV, 2012. 70p.
- Blavet, D.; de Noni, G.; Le Bissonnais, Y.; Leonard, M.; Maillo, L.; Laurent, J. Y.; Asseline, J.; Leprun, J. C.; Arshad, M. A.; Roose, E. Effect of land use and management on the early stages of soil water erosion in French Mediterranean vineyards. Soil and Tillage Research, v. 106, n. 1, p. 124-136, 2009.
- Blecker, S. W.; Connolly, S. C.; Cardon, G. E.; Kelly, E. F. The role of mining and agricultural activity in creating coexisting but divergent soils, San Luis Valley, Colorado, USA. Geoderma, v. 148, p. 384-391, 2013.
- Campiglia, E.; Mancinelli, R.; di Felice, V.; Radicetti, E. Long-term residual effects of the management of cover crop biomass on soil nitrogen and yield of endive (*Cichorium endivia* L.) and savoy cabbage (*Brassica oleracea* var. *sabauda*). Soil & Tillage Research, v. 139, p. 1-7, 2014.
- 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.
- Carr, P. M.; Brevik, E. C.; Horsley, R. D.; Martin, G. B. Long-term no-tillage sequesters soil organic carbon in cool semi-arid regions Soil Horizons. in press, 2015.



- Cerdà, A. Effects of rock fragments cover on soil infiltration, interrill runoff and erosion. *Eur. J. Soil Sci.*, v. 52, n. 1, p. 59-68, 2001. 52, 59–68, 2001.
- Ciampalini, R.; Billi, P.; Ferrari, G.; Borselli, L., Follain, S. Soil erosion induced by land use changes as determined by plough marks and field evidence in the Askum area (Ethiopia). *Agric. Ecosyst. Environ.*, v. 146, n. 1, p. 197-208, 2012.
- Coelho, M. E. H.; de Freitas, F. C. L.; Cunha, J. L. X. L.; Dombroski, J. L. D.; de Santana, F. A. O. Interferência de plantas daninhas no crescimento do pimentão nos sistemas de plantio direto e convencional. *Revista Caatinga*, v. 26, n. 4, p. 19-30, 2013.
- Cook, H. F.; Valdes, G. S. B.; Lee, H. C.; Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L. *Soil Tillage Res.*, v. 91, n. 1-2, p. 227-235, 2006.
- Cruz, J. C.; Pereira Filho, I. A.; Alvarenga, R. C. & Santana, D. P. Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 13-24, 2001.
- Cysne Júnior, R. B.; Pinto, C. M.; de Oliveira P. O. R. & Pitombeira, J. B. Influência da cobertura morta na produtividade de milho e feijão-caupi em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 2, n. 2, p. 73-77, 2012.
- Dahiya, R.; Ingwersen, J.; Streck, T. The effect of mulching and tillage on the water and temperature regimes of a loess soil: Experimental findings and modeling. *Soil and Tillage Research*, v. 96, n. 1-2, p. 52-63, 2007.
- Giubergia, J. P.; Martellotto, E.; Lavado, R. S. Complementary irrigation and direct drilling have little effect on soil organic carbon content in semiarid Argentina. *Soil and Tillage Research*, v. 134, p. 147–152, 2013.
- Gozubuyuk, Z.; U. Sahin, I.; Ozturk, A.; Celik, and M.C. Adiguzel. Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semi-arid region with a cool climate. *Catena*, v. 118, p. 195-205, 2014.
- Johnsen, K.; Jacobsen, C. S.; Torsvik, V. Pesticide effects on bacterial diversity in agricultural soils - a review. *Biol. Fertil. Soils*, v. 33, n. 6, p. 443-453, 2001.
- Jordán, A.; Zavala, L. M.; Gil, J. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena*, v. 81, n. 1, p. 77-85, 2010.
- Karami, A.; Homae, M., Afzalinia, S.; Ruhipour, H.; Basirat, S. Organic resource management: impacts on soil aggregate stability and other soil physico-chemical properties. *Agric. Ecosyst. Environ.*, v. 148, p. 22-28, 2012.
- Keil, R. G. & Mayer, L. M. Mineral matrices and organic matter, Seconded. In: Holland, H.D., Turekain, K.K. (Eds.), *Treatise on Geochemistry*, 12. Elsevier Oxford, UK, pp. 337–359, 2014.

- Laudicina, V. A.; Novara, A.; Barbera, V.; Egli, M.; Badalucco, L. Long-term tillage and cropping system effects on chemical and biochemical characteristics of soil organic matter in a Mediterranean semiarid environment. *Land Degrad. Dev*, v. 26, n. 1, p. 45-53, 2015.
- Magalhães A. R. The climatology of droughts and droughts prediction. In: *The Effects of Climatic Variations on Agriculture in Northeast Brazil*. Chapter 2, p 29 – 48, 1987.
- Mccown, R. L.; Brennan, L. E.; Parton, K. A. Learning from the historical failure of farm management models to aid management practice. Part1. The rise and demise of theoretical models of farm economics. *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 57, n. 2, p. 143-156, 2006.
- Molin, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. *Eng. Agríc.*, v.22, p. 83-92, 2002.
- Morais, J. E. F.; da Silva, T. G. F.; Barbosa, M. L.; da Silva D. W. J.; de Souza, C. A. A.; Jardim, A. M. D. R. F.; da Silva F. J. M. Impactos das mudanças climáticas na demanda hídrica e duração do ciclo do sorgo forrageiro e feijão-caupi no estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, p. 542-559, 2015.
- Moscatti, M. C. L. & Gan, M. A. Rainfall variability in the rainy season of semiarid zone of Northeast Brazil (NEB) and its relation to wind regime. *International Journal of Climatology*, v. 27, n. 4, p. 493-512, 2007.
- Motter, P.; Almeida, H.G. Contexto histórico do surgimento do plantio direto no Brasil. In: Motter, P.; Almeida, H.G. de (Coord.). *Plantio direto: a tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira*. Foz do Iguaçu: Parque Itaipu. v.1, p.10-14, 2015.
- Mulumba, L.N., Lal, R. Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, v. 98, n. 1, p. 106-111, 2008.
- Muñoz, A.; López-Piñero, A.; Ramírez, M. Soil quality attributes of conservation management regimes in a semi-arid region of south western Spain. *Soil and Tillage Research*, v. 95, n. 1-2, p. 255-265, 2007.
- Oliveira, R. P.; Grego, C. R.; Brandão, Z. N. *Geoestatística aplicada na Agricultura de Precisão utilizando o Vesper*. 23. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2015.
- Peche Filho, A.; Ambrosano, E. J.; Luz, P. H. C. Semeadura e manejo da biomassa de adubos verdes. In: Lima Filho, O. F. de; Ambrosano, E. J.; Rossi, F.; Carlos, J.A.D. (Ed.). *Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática*. Brasília: Embrapa. v.1, p.169-187, 2014.
- Pelosi, C.; Toutous, L.; Chiron, F.; Dubs, F.; Hedde, M.; Muratet, A.; Ponge, J. F.; Salmon, S., Makowski, D. Reduction of pesticide use can increase earthworm populations in wheat crops in a European temperate region. *Agric. Ecosyst. Environ*, v. 181, p. 223-230, 2013.

- Prosdocimi, M.; Jordán, A.; Tarolli, P.; Keesstra, S.; Novara, A.; Cerdà, A. The immediate effectiveness of barley straw mulch in reducing soil erodibility and surface runoff generation in Mediterranean vineyards. *Sci. Total Environ.* v. 547, p. 323-330, 2016.
- Sadeghi, S. H. R.; Gholami, L.; Homaei, M.; KhalediDarvishan, A. Reducing sediment concentration and soil loss using organic and inorganic amendments at plot scale. *Soil Earth*, v. 6, n. 2, p. 445-455, 2015.
- Sales, R. P., Portugal, A. F.; Moreira, J. A. A.; Kondo, M. K.; Pegoraro, R. F. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. *Revista Ciência Agronômica*, v. 47, n. 3, p. 429-438, 2016.
- Sandler, A. Clay distribution over the landscape of Israel: from the hyper arid to the mediterranean climate regimes. *Catena*, v. 110, p. 119-132, 2013.
- Saturnino H. M. & Landers J. N. O meio ambiente e o plantio direto. Brasília, EMBRAPA-SPI. 116p. 1997.
- Silva, A. A.; Galon, L.; Ferreira, F. A.; Tironi, S. P.; Ferreira, E. A.; da Silva, A. F.; Agnes, E. L. Sistema de plantio direto na palhada e seu impacto na agricultura brasileira. *Revista ceres. Brasil*, Jul-Ago, v. 56, n. 4, p. 496-506, 2009.
- Silva, F. A.; Freitas, F. C.; Rocha, P. R.; Cunha, J. L. X. L.; Dombroski, J. D.; Coelho, M. E.; Lima, M. F. Milho para ensilagem cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional sob efeito de veranico. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, n. 1, p. 327-340, 2015.
- Silva, M. G. O.; de Freitas, F. C. L.; Negreiros, M. Z.; Mesquita, H. C.; de Santana, F. A. O.; de Lima, M. F. P. Manejo de plantas daninhas na cultura da melancia nos sistemas de plantio direto e convencional. *Horticultura Brasileira*, v. 31, n. 3, 2013.
- Spera S. T.; Santos H. P.; Fontaneli R. S.; Tomm G. O.; Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, v. 33, n. 1, 2009.
- Tarolli, P.; Sofia, G.; Calligaro, S.; Prosdocimi, M.; Preti, F.; Fontana, G. D. Vineyards in terraced landscapes: new opportunities from lidar data. *Land Degrad. Dev*, v. 26, n. 1, p. 92-102, 2015.
- Teófilo, T. D. S.; Freitas, F. C. L.; Medeiros, J. D.; Silva, D. D.; Grangeiro, L. C.; Tomaz, H. D. Q. Eficiência no uso da água e interferência de plantas daninhas no meloeiro cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional. *Planta daninha*, v. 30, n. 3, p. 547-556, 2012.
- Uson, A. & Cook, H. F. Water relations in a soil amended with composted organic waste. In: Cook, H.F., Lee, H.C. (Eds.), *Soil Management in Sustainable Agriculture*. Wye College Press, Wye, Ashford, Kent, pp. 453-460, 1995.

- Vasconcelos, R. F. B. D., Cantalice, J. R. B., Moura, G. B. D. A., Rolim, M. M., & Montenegro, C. E. D. V. Compressibility of a yellow latosol under different management systems with sugarcane. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 2, p. 525-536, 2012.
- Yamamoto, J. K., & Landim, P. M. B. *Geoestatística: conceitos e aplicações*. Oficina de textos, 2015.
- Wang, J.; Huang, J.; Zhao, X.; Wu, P.; Horwath, W. R.; Li, H.; Jing, Z.; Chen, X. Simulated study on effects of ground managements on soil water and available nutrients in jujube orchards. *Land Degrad. Dev*, v. 27, n. 1, p. 35-42, 2016.
- Wooldridge, J. & Harris, R. E. Effect of organic mulches and plastic sheet on soil temperature. *Deciduous Fruit Grower*, v. 41, n. 4, p. 118-121, 1991.
- Wutke, E. B.; Calegari, A.; Wildner, L. D. P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. Lima Filho, of de; Ambrosano, E. J; Rossi, F, 59-168, 2014.

# CAPÍTULO 1 – MANEJO E QUANTIFICAÇÃO DA COBERTURA DO SOLO NA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO IRRIGADO NO SEMIÁRIDO E SUA INFLUÊNCIA NA PRODUTIVIDADE DO MILHO

## RESUMO

A implementação do Sistema Plantio Direto (SPD) é variável conforme o ambiente, principalmente no que se refere a melhor combinação entre as espécies cultivadas e o manejo adequado. O objetivo do presente trabalho foi estimar a quantidade de fitomassa formada e sua influência na produtividade do milho irrigado, com base em diferentes coberturas vegetais manejadas nos princípios do SPD. O período da pesquisa foi de setembro 2016 a setembro 2017 em região do semiárido do Rio Grande do Norte. A área experimental possui 6.300 m<sup>2</sup>, onde foram coletados 30 amostras bem distribuídas para o melhor entendimento da variabilidade espacial. As variáveis investigadas foram a quantidade de Massa Seca (MS), em três momentos distintos, e a produtividade de milho em função da cobertura anterior. Nessa avaliação fez-se uso da geoestatística, por meio da krigagem ordinária, onde foi realizado os ajustes dos semivariogramas. Para o quantitativo de MS das plantas de cobertura, influência das coberturas na produtividade do milho e análise do percentual final de área coberta (PAC) foi configurado um delineamento experimental de blocos ao acaso com os tratamentos arranjados da seguinte forma: T1 = milheto, T2 = crotalária juncea, T3 = vegetação espontânea, T4 = sorgo e T5 = sorgo e crotalária juncea. As variáveis investigadas foram, quantidade de fitomassa Seca (MS) em kg.ha<sup>-1</sup>, pelo método do quadrado, Percentual de Área Coberta (PAC), com base em imagens digitais processadas em redes neurais, e a produtividade do milho em função da cobertura antecessora. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foi constatado que dentro dos tratamentos, as médias de MS da palhada das plantas espontâneas e da Palhada do Milho (M) não apresentaram diferenças estatísticas. No entanto para as plantas de cobertura do solo (PC) houve diferenças, tendo os tratamentos referentes ao plantio da crotalária e do sorgo sido superiores ao tratamento testemunha (vegetação espontânea) e semelhantes ao tratamento com milheto e ao tratamento com sorgo mais crotalária. Nas outras variáveis analisadas, PAC e produtividade do milho, não foram encontradas diferenças estatísticas. Na confecção dos mapas da produtividade de grãos e da fitomassa seca após o cultivo do milho foi usado a krigagem ordinária. O modelo mais adequado de semivariograma para as variáveis de produtividade de fitomassa e de grãos foi o gaussiano, no qual o alcance atingiu valores de 26,51 e 30,74 m, respectivamente. A crotalária e o sorgo apresentaram maiores quantidades de fitomassa de cobertura do solo. A avaliação por imagens aéreas do percentual de área coberta e do quantitativo de fitomassa, conforme o manejo adotado, permitiram caracterizar o SPD.

**Palavras-chave:** Zea mays, manejo do solo, região semiárida, redes neurais

# CHAPTER 1 – MANAGEMENT AND QUANTIFICATION OF SOIL COVERAGE IN THE IMPLANTATION OF THE IRRIGATED NO-TILLAGE IN SEMIARID AND ITS INFLUENCE ON CORN PRODUCTIVITY

## ABSTRACT

The implementation of the No Tillage System (SPD) is variable according to the environment, mainly regarding the best combination between cultivated species and adequate management. The objective of the present work was to estimate the amount of phytomass formed and its influence on yield of irrigated corn, based on different vegetation cover managed in the SPD principles. The research period was from September 2016 to September 2017 in a semiarid region of Rio Grande do Norte State, Brazil. The experimental area has 6,300 m<sup>2</sup>, where 30 well-distributed samples were collected for a better understanding of spatial variability. The variables investigated were the amount of dry mass (DM), in three distinct moments, and corn yield as a function of the previous coverage. In this evaluation the use of geostatistics was done by ordinary kriging, where the semivariogram adjustments were made. For the quantitative of DM in the cover plants, influence of the coverings on maize productivity and analysis of the final percentage of covered area (PAC), and the experimental design was a randomized block design with treatments arranged as follows: T1 = millet, T2 = crotalaria juncea, T3 = spontaneous vegetation, T4 = sorghum and T5 = sorghum and crotalaria juncea. The variables investigated were: amount of vegetation dry matter (DM) in kg.ha<sup>-1</sup>, by the square method, Percentage of Covered Area (PAC), based on digital images processed in neural networks, and corn yield as a function of coverage. Data were submitted to analysis of variance and the means were compared by Tukey test at 5% probability. It was verified that within the treatments, the mean DM of the straw of the spontaneous plants and of the Corn Straw (M) did not present statistical differences. However, there were differences among cover crops (CP), with treatments of crotalaria and sorghum being superior to the control treatment (spontaneous vegetation) and similar to the treatment with millet and treatment with sorghum plus crotalaria. In the other analyzed variables, PAC and corn yield, no statistical differences were found. Ordinary kriging was used in the preparation of maps of grain yield and dry phytomass after maize cultivation. The most adequate semivariogram model for the phytomass and grain yield variables was the Gaussian model, in which the range reached values of 26.51 and 30.74 m, respectively. Crotalaria and sorghum presented higher amounts of soil cover biomass. The evaluation by aerial images of the percentage of area covered and the amount of phytomass, according to the adopted management, allowed to characterize the SPD.

**Key words:** Zea mays, soil management, semi-arid region, neural networks

## 1 INTRODUÇÃO

A prática conservacionista de manter a palhada sobre o solo representa a essência do SPD com funções importantes em manter o teor de água do solo, agir como reciclador de nutrientes, aumentar a matéria orgânica no perfil do solo melhorando a capacidade de troca catiônica (CTC) e a estrutura física do solo, além de ajudar no controle de plantas daninhas seja pela barreira física ou pela liberação de substâncias alelopáticas (Saturnino & Landers 1997; Silva et al. 2009). Além disso proteger o solo contra o impacto dos pingos de chuva, reduzir as taxas de erosão (Blavet et al., 2009; Jordán et al., 2010; Sadeghi et al., 2015), diminuir a velocidade do fluxo de água no processo inicial do escoamento superficial, aumentar a rugosidade do solo (Cerdà, 2001; Jordán et al., 2010; Prosdocimi et al., 2016), melhorar o ambiente para a penetração das raízes (Wang et al., 2014), aumenta a atividade de alguns organismos indicadores da qualidade do solo e desempenho da cultura (Wooldridge & Harris, 1991).

Comparando o manejo convencional do solo e o plantio direto em regiões semiáridas do Brasil, sob efeito da irrigação, observa-se superioridade do plantio direto na melhoria dos indicadores físicos do solo (Sales et al., 2016), menor infestação da vegetação espontânea e maior produtividade de frutos de melancia (Silva et al., 2013), maior produtividade do pimentão quando associado a capinas (Coelho et al., 2013), melhoria na eficiência do uso da água na produção do melão (Teófilo, 2012) e de milho sob efeitos de verânicos (Silva et al., 2015).

A quantidade de fitomassa produzida, bem como o tempo de sua permanência em determinada área de exploração agrícola são dependentes do interesse do agricultor, do manejo adotado, do ambiente de exploração e das espécies cultivadas (Wutke et al., 2014). Os meios mecânicos do corte da biomassa diferem em função do equipamento disponível, do nível de conhecimento do produtor e do tipo de material a ser triturado (Lima Filho et al., 2014). Nas últimas décadas a indústria agrícola tem desenvolvido uma série de equipamentos e implementos especializados a este fim.

No SPD é fundamental que a cultura escolhida possua elevada produção fitomassa, capacidade de acumular nutrientes, principalmente, nitrogênio e fósforo, rusticidade e alta tolerância ao déficit hídrico, efeito alelopático sobre as plantas daninhas, sem prejuízo à cultura principal, crescimento inicial rápido, relação C/N adequada com baixa taxa de decomposição (Barcellos et al., 2015).

Na avaliação da fitomassa, uma das formas de quantificar o percentual da cobertura

formada é através de imagens aéreas digitais, que geralmente são processadas por programas específicos que utiliza técnicas de classificação e processamento de imagens para quantificar alterações e gerar mapas temáticos, a partir de padrões de cores pré-definidos (Jorge e Silva, 2009). Avanços recentes na tecnologia dos veículos aéreos não tripulados (VANTs) para a aquisição de imagens aéreas de alta resolução e em tempo real vem dinamizando o processo investigativo no meio agrícola (Park, Lee e Chon 2018). No processamento das imagens o estabelecimento de uma escala de matrizes, definidas por tonalidades e cores distintas compõe uma rede neural artificial. Seu reconhecimento e classificação possibilita a quantificação de cada grupo formado, sendo os resultados expressos na forma de porcentagem, em relação à área total da imagem (Oliveira et al., 2014).

O objetivo do presente trabalho foi estimar a quantidade de massa seca, o percentual de cobertura da fitomassa formada e sua influência na produtividade do milho irrigado, com base em diferentes coberturas vegetais manejadas nos princípios do SPD.



## 2 MATERIAL E MÉTODOS

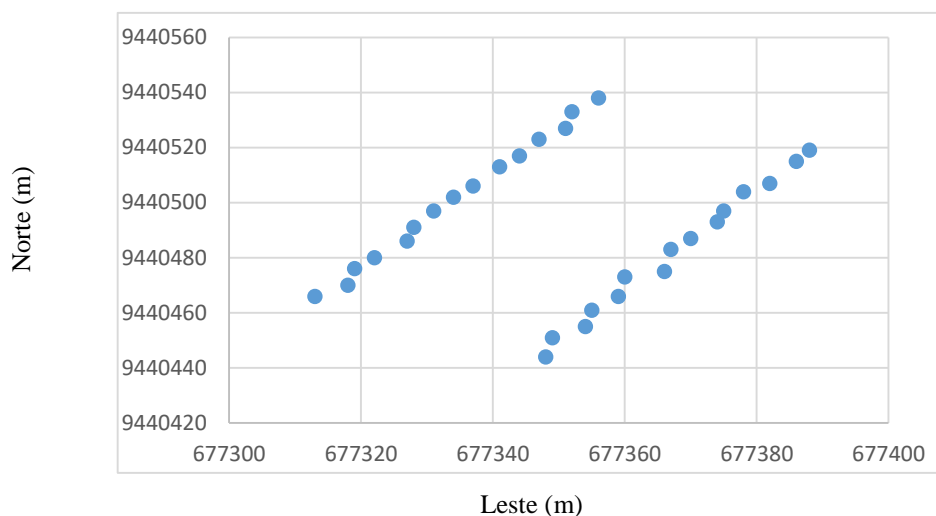
### 2.1 Características da área experimental

O experimento foi realizado no período de setembro de 2016 a setembro de 2017 em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico Argissólico, segundo Rêgo et al., (2016), sob sistema irrigado na Fazenda Experimental Rafael Fernandes da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) - Mossoró-RN.

A localização geográfica corresponde a 5°03'37" de Latitude Sul e 37°23'50" de Longitude Oeste, com altitude média de 72 metros e declividade entre 0 e 2%. O clima (BSwh') é seco, muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono com temperatura média anual de 27,4°C, precipitação pluviométrica anual de 673,9 mm e umidade relativa do ar de 68,9% no outono (Pereira et al., 2011).

No histórico da área, tem-se que, Até o ano de 2010, a vegetação predominante era a caatinga hiperxerófila em processo de regeneração. A seguir, em 2011, houve a remoção dessa vegetação e o solo foi manejado com escarificador e grade de discos para receber o cultivo do feijão-caupi sob irrigação. No ano de 2012 o local ficou em pousio e no período de 2013 a 2014 a área foi preparada com grade de discos para o plantio do milho irrigado. Finalizado o cultivo, a área ficou em descanso até o dia 19 de setembro de 2016. A partir de então, o manejo em plantio direto foi adotado e o sistema de irrigação foi configurado para trabalhar a uma pressão de 25 mca, raio de 12 metros de alcance, vazão aproximada de 530 L.h<sup>-1</sup> e altura do jato de 2,5 metros.

A área experimental possui 6.300 m<sup>2</sup> (70 m x 90 m) e sua conformação favorece a utilização de operações mecanizadas. Para a investigação da variabilidade espacial da fitomassa seca foram coletados 30 pontos em uma malha não regular (figura 1) por meio de um receptor GPS de navegação (Garmin modelo 76 Csx), com precisão máxima de 7 m, configurado no sistema de coordenadas UTM segundo o datum WGS84. Para a variável de produtividade do milho, o valor médio de cada unidade experimental foi considerado e as coordenadas centrais utilizadas para a confecção do mapa temático.



**Figura 1.** Distribuição espacial das variáveis amostrados para a Massa Seca e Produtividade do Milho em Mossoró-RN

Para a avaliação quantitativa das plantas utilizadas como cobertura, seu efeito na produtividade do milho e no percentual de área coberta foi montado um delineamento em blocos ao acaso com seis repetições. Os tratamentos foram arranjados da seguinte forma: T1 = milheto (*Pennisetum glaucum* L. e/ou *R. Brown*), T2 = crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.), T3 = vegetação espontânea, (controle), T4 = sorgo (*Sorghum bicolor* L. e/ou *Moench*) e T5 = sorgo e crotalária juncea. As parcelas possuem 30 metros de comprimento e 6 metros de largura, totalizando 180 m<sup>2</sup> (Figura 2).

Tratamentos (Parcelas-Bloco)		Tratamentos (Parcelas-Bloco)
Vegetação Espontânea (15-B3)	Área de trânsito	Milheto (30-B6)
Sorgo e Crotalária (14-B3)		Vegetação Espontânea (29-B6)
Milheto (13-B3)		Sorgo (28-B6)
Sorgo (12-B3)		Crotalária (27-B6)
Crotalária (11-B3)		Sorgo e Crotalária (26-B6)
Sorgo (10-B2)		Milheto (25-B5)
Vegetação Espontânea (9-B2)		Sorgo (24-B5)
Milheto (8-B2)		Vegetação Espontânea (23-B5)
Sorgo e Crotalária (7-B2)		Sorgo e Crotalária (22-B5)
Crotalária (6-B2)		Crotalária (21-B5)
Crotalária (5-B1)		Sorgo (20-B4)
Vegetação Espontânea (4-B1)		Sorgo e Crotalária (19-B4)
Sorgo e Crotalária (3-B1)		Milheto (18-B4)
Sorgo (2-B1)		Vegetação Espontânea (17-B4)
Milheto (1-B1)		Crotalária (16-B4)

6 m

30 m

**Figura 2.** Croqui da área experimental com os tratamentos referentes às plantas de cobertura, Mossoró-RN.

## 2.2 Manejo adotado

No manejo das coberturas, a principal prática para o controle da vegetação, foi realizada por um triturador de palhada, marca Jan, modelo Triton 3600, regulado para efetuar o corte da vegetação a uma altura de 5 cm do solo. Ao fim de cada manejo, para a quantificação da variável MS (massa seca) foi realizada a coleta utilizando-se um quadrado de 0,5 x 0,5 m lançado aleatoriamente nas regiões centrais de cada parcela. Posteriormente, as plantas foram acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados e o material foi mantido na estufa de ventilação forçada a 65 °C até atingir massa constante. Após, determinou-se o quantitativo em peso da fitomassa extrapolando-os para kg.ha<sup>-1</sup>.

Os critérios para a escolha das espécies de plantas de cobertura foi a adaptação ao clima da região, capacidade de produção de massa seca, ciclo da cultura, taxa de cobertura, porte ereto e propagação por semente. No plantio foi utilizada a semeadora de arrasto da marca Tatu Marchesan - modelo PSA<sup>3</sup>, o arranjo para as taxas de ocupação seguiu as recomendações técnicas de Peche Filho; Ambrosano; Luz (2014) para a cobertura do solo (Quadro 1).

**Quadro 1.** Índices utilizados no plantio das espécies para a cobertura do solo no Sistema de Plantio Direto.

Culturas	Profundidade	Espaçamento	Densidade	Massa de 100 sem	População
	(cm)	(m)	(sem/m)	(g)	(plantas/ha)
Crotalaria	2 - 3	0,5	25	4,5	54.000
Milheto	2 - 3	0,5	55	0,268	198.000
Sorgo	3 - 5	0,5	25	3,1	54.000

Fonte: Peche Filho; Ambrosano; Luz (2014).

Para o corte e distribuição da fitomassa, no início da floração (aproximadamente 70 dias após o plantio), as culturas de cobertura foram manejadas para serem feitas as coletas da MS. Em seguida, a área ficou em descanso até o dia 25/03/2017. Na sequêcia, em virtude do período chuvoso, houve a necessidade de controlar a vegetação espontânea com o herbicida Paraquat®.

No dia 28/03/2017 foi realizado o plantio do milho, utilizando a semeadora-adubadora de precisão, marca Marchesan, modelo PST<sup>4</sup> Flex, pneumática e pantográfica. A máquina foi regulada para se obter um estande final de aproximadamente 59.000 plantas.ha<sup>-1</sup> com espaçamento de 0,90 m entre linhas e 5,3 plantas por metro linear. A variedade escolhida foi a BRS Gorutuba, desenvolvida pela EMBRAPA Semiárido, pois apresenta boa adaptação à região, superprecocidade e grande aporte de fitomassa.

Por ocasião da semeadura, foi realizada a adubação de fundação com 125 kg.ha<sup>-1</sup> de MAP, 25 kg kg.ha<sup>-1</sup> de uréia e 50 kg.ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio. Na adubação em cobertura

foram usados 100 kg.ha<sup>-1</sup> de uréia e 25 kg.ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio. Durante o desenvolvimento do milho, a vegetação espontânea nas entrelinhas foi controlada com roçadeira manual a gasolina. O intuito foi o de continuar mantendo a pouca mobilização do sistema solo e aumentar a quantidade de fitomassa proveniente das vegetações.

A colheita do milho foi realizada com base em características fisiológicas da variedade e no teor de água dos grãos aos 103 dias após o plantio, de forma manual numa área correspondente a três linhas de cultivo de 20 m de comprimento (área útil das parcelas). A produção de cada unidade experimental foi debulhada com uma trilhadora estacionária acoplada à tomada de potência do trator e os grãos foram armazenados em sacos de ráfia. A produtividade foi obtida por meio da pesagem dos grãos e a umidade foi corrigida para 13%. Os dados de produtividade por parcela foram convertidos para kg.ha<sup>-1</sup>.

Ao final de todos os manejos das palhadas resultantes, foi realizada a última coleta de MS e a quantificação do Percentual de Área Coberta (PAC) em setembro de 2017. O PAC foi determinado por meio de imagens digitais de cada parcela, as quais foram obtidas por um VANT do tipo quadricóptero, modelo Phantom 2, da marca DJI<sup>®</sup> equipado com um sensor do tipo CMOS com resolução de 12 M pixel, e altura de voo de 20 m. O sensor capta a radiação refletida nas bandas do vermelho, verde e azul. As imagens foram selecionadas e cortadas ajustando-se aos limites da parcela. Após foram realizados o processamento e a classificação das imagens no programa SisCob 1.0 (Jorge e Silva, 2009). Para isso, uma rede neural com três cores pré-definidas foi criada para caracterizar os elementos da cobertura do solo; Amarelo = Palhada, refere-se à palhada da parte aérea da vegetação espontânea remanescente mais a palhada da parte aérea do milho após a retirada das espigas, Vermelho = Solo descoberto e Verde = Vegetação sobrevivente após o manejo.

### **2.3 Estatística descritiva e geoestatística das variáveis investigadas**

Na análise descritiva foi calculada as medidas de posição, as de dispersão e as formas de distribuição dos valores. O teste de Shapiro & Wilk (1965) a nível de 5% de probabilidade foi utilizado para verificar o ajuste dos dados à distribuição normal. O coeficiente de variação (CV) foi considerado baixo quando menor que 15%, médio quando entre 15 e 50% e alto quando maior do que 50% (Warrick & Nielsen, 1980).

A análise geoestatística foi utilizada no processamento dos semivariogramas para a verificação da dependência espacial das variáveis em estudo. O programa geoestatístico utilizado para verificar as tendências espaciais e identificar variações sistemáticas e

randômicas foi o software Vesper 1.6 (Minasny et al., 2006). Para estimar os valores das variáveis nos locais não amostrados da área foi utilizado o método de interpolação por krigagem ordinária em blocos 5 x 5 m com raio de busca por vizinhos de 50 metros, número mínimo de 10 pontos e máximo de 100. Com os valores interpolados foram gerados os mapas temáticos com auxílio do programa de geoprocessamento Quantum Gis 2.18 (Quantum Gis Development Team, 2015).

A semivariância ( $\gamma(h)$ ) é estimada pela equação:

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

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).

Na análise dos semivariogramas testou-se os seguintes modelos:

(a) Esférico:

$$\gamma^*(h) = C_0 + C_1 [1,5(h/a) - 0,5 (h/a)^3] \text{ para } 0 < h < a \text{ e } \gamma^*(h) = C_0 + C_1 \text{ para } h \geq a;$$

(b) Exponencial:

$$\gamma^*(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-3h/a)] \text{ para } 0 < h < d, \text{ em que } d \text{ é a distância máxima na qual o semivariograma é definido};$$

(c) Gaussiano:

$$\gamma^*(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-3h^2/a^2)] \text{ para } 0 < h < d \text{ para as variáveis em estudo.}$$

Os modelos de semivariograma de melhor ajuste considerou o menor valor do AIC (Critério de Informação de Akaike – Akaike, 1973). O grau de dependência espacial dos semivariogramas foi avaliado segundo os intervalos propostos por Cambardella et al. (1994):  $GD < 25\%$  - forte dependência espacial;  $25\% < GD < 75\%$  - moderada dependência espacial e  $GD > 75\%$  - fraca dependência espacial.

O valor de GD é dado pela equação:

$$GD (\%) = C_0 \div (C_0 + C_1)$$

em que:  $C_0$  - efeito pepita;  $C_1$  - variância estrutural

## **2.4 Estatística experimental das variáveis investigadas**

As variáveis investigadas foram a fitomassa seca, somente das plantas de cobertura, a produtividade de grãos do milho em função da cobertura anterior e o percentual de área coberta ao fim do último manejo da palhada. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, quando significativos, com o uso do programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2011).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores da média e mediana, para todas as variáveis, estão próximos, indicando distribuições simétricas. Fato comprovado com os valores da assimetria que apresentaram resultados próximos a zero (tabela 1). O coeficiente de variação apresentou classificação média para todas as variáveis conforme a classificação de Cambardella e o ajuste à distribuição normal a 5% de probabilidade foi verificado nas variáveis MS\_Milho e Prod\_M1, a 1% de probabilidade para MS\_PC e a variável MS\_VE não foi significativo. A cronologia do manejo utilizado pode indicar que as práticas adotadas alteraram o comportamento espacial das variáveis no campo. A distribuição normal torna a krigagem mais eficiente na estimativa dos valores, mas não é requisito exigido para tal. A ausência da normalidade em certos níveis de assimetria não diminuiu a robustez do interpolador (Pereira et al. 2015).

**Tabela 1.** Estatística descritiva e teste de normalidade das variáveis de Massa Seca (MS) em Vegetação Espontânea (VE), Plantas de cobertura (PC) e Milho e da variável Produtividade do Milho (Prod\_M1).

VARIÁVEIS	Média	Mediana	Mínima	Máxima	Curtose	Assimetria	CV	Classif.	w	p
MS_VE	2948	2540	1600	5840	1,80	1,25	35,96	Médio	0,8703	0,0017 <sup>ns</sup>
MS_PC	3104	3200	1280	6880	2,47	1,05	38,24	Médio	0,9256	0,0377 <sup>**</sup>
MS_Milho	7765	7720	4000	14080	-0,16	0,61	32,62	Médio	0,9539	0,2109 <sup>*</sup>
Prod_M1	2809	2707	1394	4403	-1,01	0,23	30,16	Médio	0,9539	0,2155 <sup>*</sup>

MS\_VE = Massa Seca da Vegetação Espontânea. MS\_PC = Massa das Plantas de cobertura. CV = Coeficiente de Variação. Classif. = Classificação da variabilidade. W = valor do teste Shapiro Wilk; ns = não significativo indica ajuste à distribuição normal; \*e \*\*significativos (p<0,05 e 0,01).

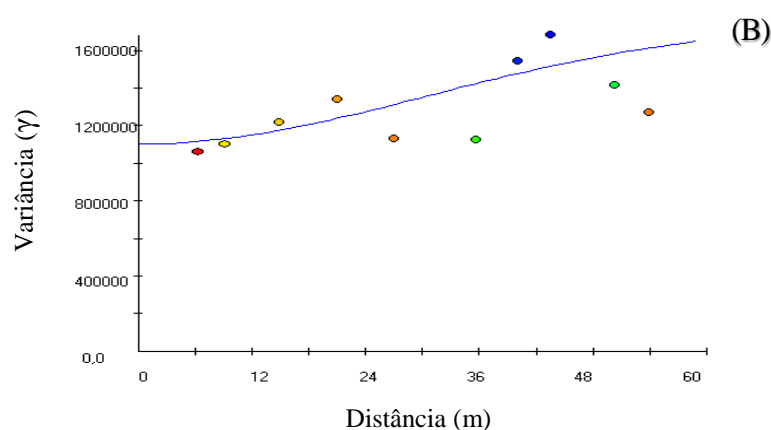
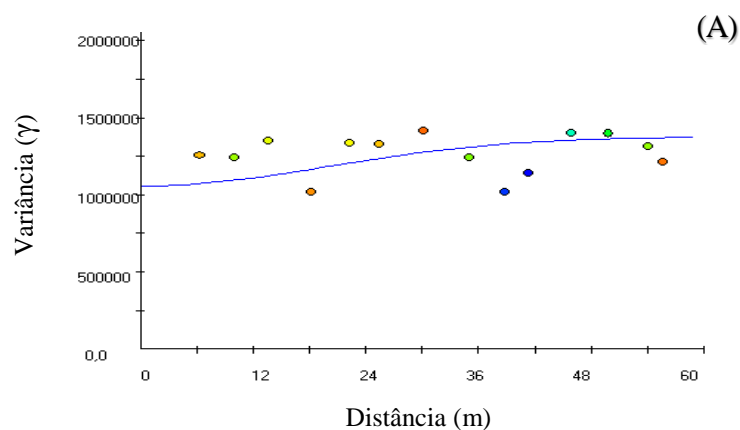
Dentre os modelos de semivariância, o Gaussiano apresentou melhor ajuste (Tabela 2). Resultados semelhantes foram encontrados para a produtividade foram encontrados por Vian et al. (2016) em cultivo de milho irrigado. O alcance, que é a distância máxima na qual as amostras apresentam dependência espacial, em geral foi maior do que as distâncias mínimas estabelecidas na grade de pontos (tabela 2). Essa característica potencializa a distribuição espacial das variáveis instigadas. Para Grego et al. (2014) o método da krigagem estima valores desconhecidos utilizando os semivariogramas, que são os modelos da variação dos dados em função da distância. Segundo a classificação de Cambardella et al. (1994) o grau de dependência espacial da MS foi fraca para VE e Moderada para PC e M1. Na produtividade de milho (Prod\_M) o semivariograma apresentou grau de dependência forte (Tabela 2). Resultado similar foi encontrado por Amado et al. (2007) ao investigar a dependência espacial da produtividade do milho em sistema plantio direto consolidado.

**Tabela 2.** Parâmetros dos semivariogramas para as variáveis Massa Seca (MS) em Vegetação Espontânea (VE), Plantas de cobertura (PC), Milho e para variável Produtividade do Milho (Prod\_M1).

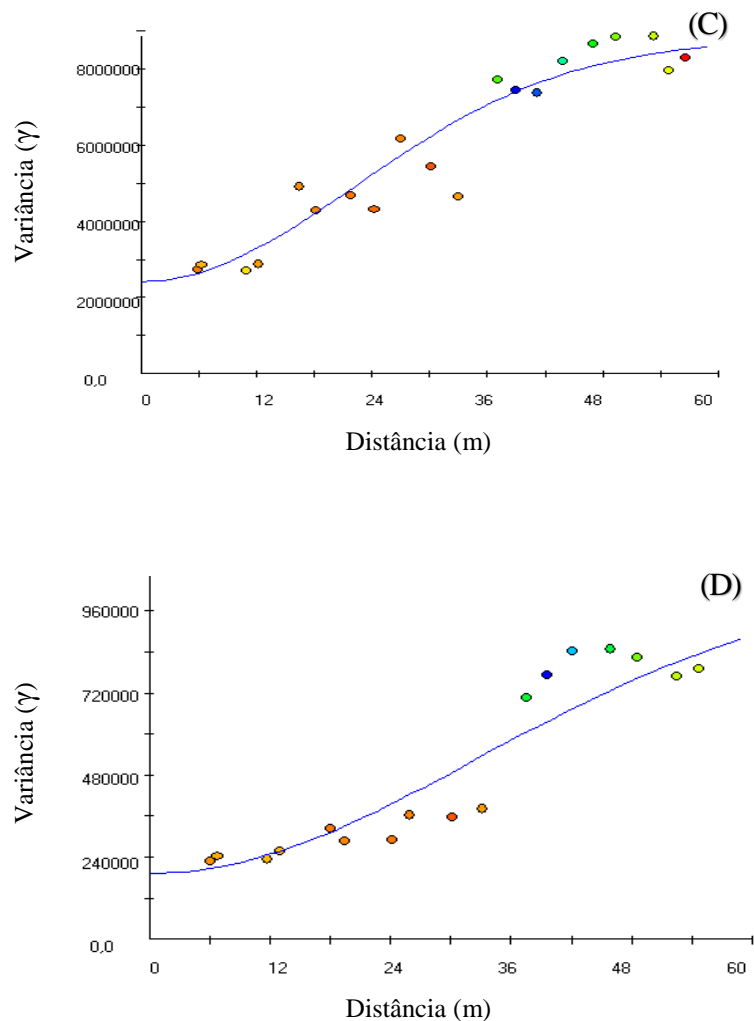
VARIÁVEIS	N.Lags	Tol	Co	Co+C1	A	Modelo	AIC	GD	Clas.
MS_VE	14	50	1055718	1377024	28,08	Gaussiano	425,4	76,7	Fraca
MS_PC	10	60	1101446	1746482	42,91	Gaussiano	270,7	63,1	Moderada
MS_M	20	60	2413748	8767584	31,41	Gaussiano	602,3	27,5	Moderada
Prod_M	17	50	95259	1161939	41,13	Gaussiano	493,1	8,2	Forte

N.Lags = Número de lags. Tol = Tolerância. Co = Efeito Pepita; Co + C1 = Patamar; A = Alcance; GD = Grau de dependência espacial; Clas. = Classificação da dependência. AIC = Critério de Informação de Akaike.

No ajuste dos semivariogramas, para todas as variáveis, foi realizado um refinamento manual dos parâmetros de ajuste, considerado um padrão com relação ao número de lags, tolerância e distância máxima a intensão é estabelecer um comparativo igualitário as variáveis. (Figura 03). Critério semelhante foi utilizado por Taylor et al. (2018) onde os dados de cada campo, na avaliação da produtividade de batatas inglesas, forneceu uma ponderação semelhante ao cálculo da variância em cada lag dentro da análise combinada.







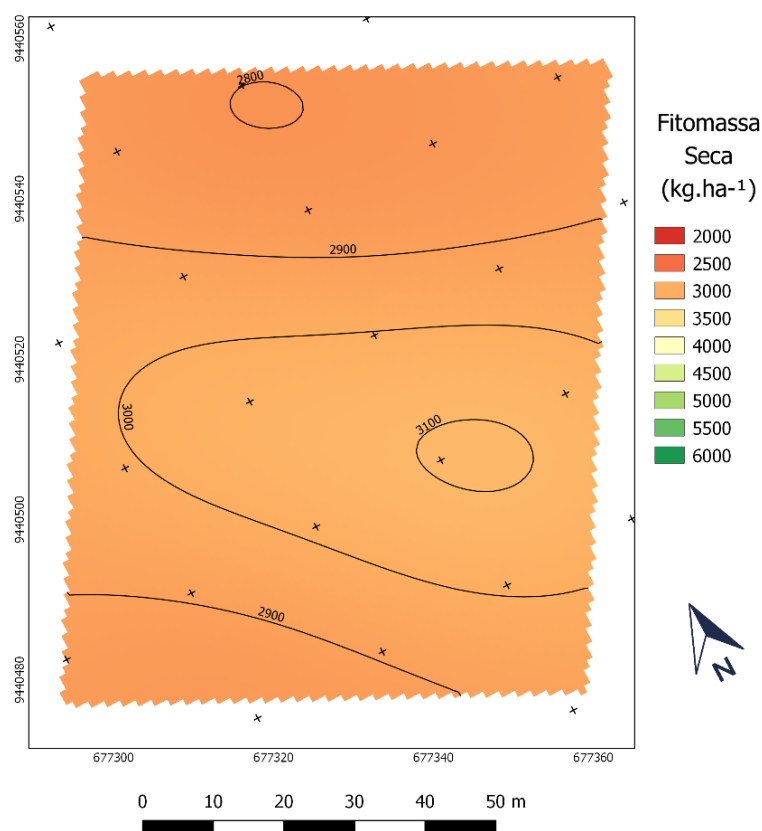
**Figura 3.** Semivariogramas ajustados para as condições de produtividade massa seca da vegetação espontânea (A), massa seca das plantas de cobertura (B), massa seca do milho (C) e produtividade de grão do milho (D) em Mossoró-RN, 2019.

Para a interpretação e organização das legendas utilizadas nos mapas de fitomassa seca foi considerado como base o critério estabelecido por Alvarenga et al. 2001 que estipula um quantitativo mínimo de 6 toneladas de palhada em cobertura para caracterizar o SPD.

Na Figura 4 visualiza-se a espacialização da fitomassa seca para a vegetação espontânea. Na ocasião, os quantitativos apresentaram pouca diferença e baixa variação conforme a legenda adotada. Onde o quantitativo mínimo, indicado nas linhas de isovalores, foi de 2.800 kg.ha<sup>-1</sup> e o máximo não ultrapassou 3.100 kg.ha<sup>-1</sup>. Na representação da distribuição espacial, conforme as cores, a coloração laranja predominou.

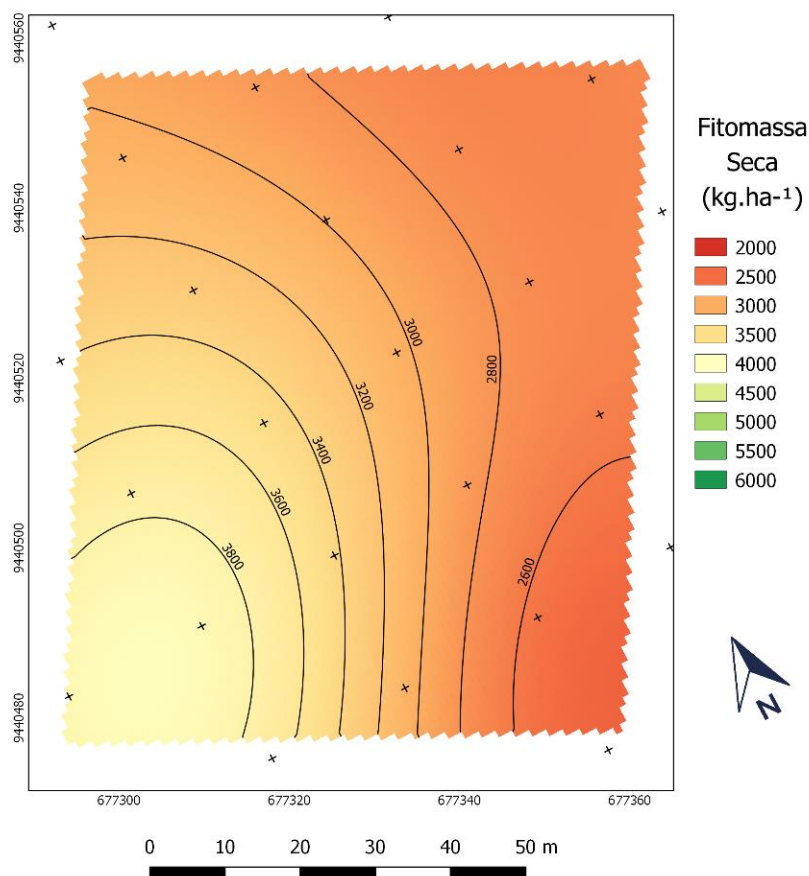
No levantamento das principais espécies espontâneas presentes na área foram encontradas as seguintes espécies: Salsa (*Ipomoea asarifolia* Roem. & Schult.), Malva veludo (*Sida cordifolia* L.), Malva branca (*Herissantia memoralis* Brizicky), Caruru (*Amaranthus spinosus*), Bredo (*Triantema portucastrun* L.), capim pé de galinha (*Chloris barbata* Sw.),

capim carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.), capim rabo de raposa (*Andropogon leucostachyus* Kunth), Jitirana (*Merremia aegyptia* L.), Capim amargo (*Paspalum paniculatum* L.) e capim braquiária (*Braquiária decumbens* Stapf.). Esta última com grande predominância.



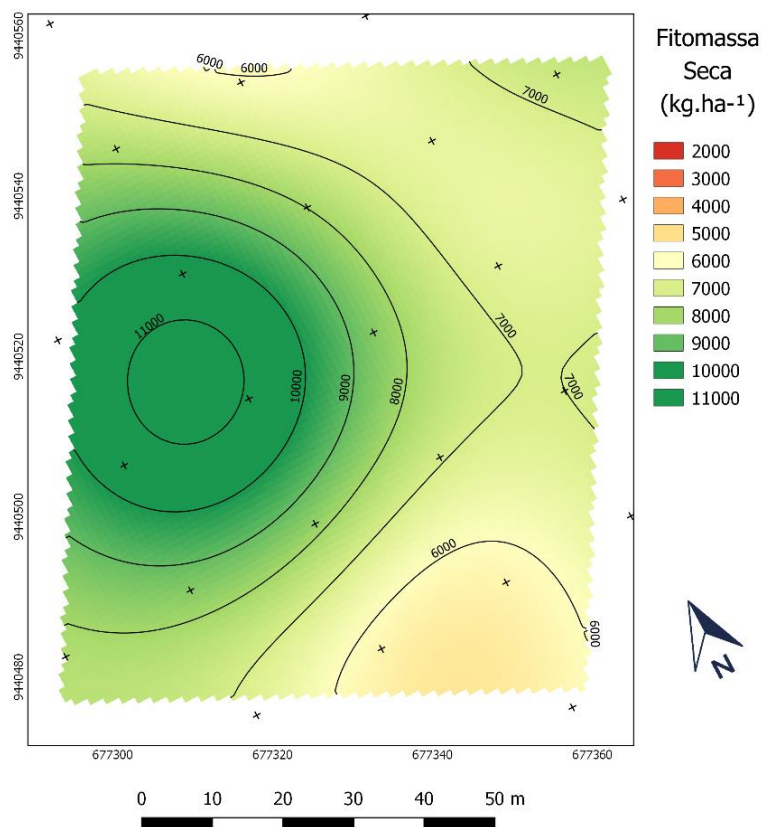
**Figura 4.** Produtividade de massa seca após o manejo inicial na vegetação espontânea (MS\_VE). Coordenadas UTM – Datum; WGS 84, zona 24S e escala de 1:600. Mossoró/RN.

Na figura 5, as plantas utilizadas para a produção de fitomassa (PC) apresentaram uma maior variação, quando comparado a cobertura anterior (MS\_VE), com a diferença de 1.200 kg.ha<sup>-1</sup> entre as regiões de maior e menor quantitativo. Ao final, avaliando os dois períodos, é possível definir que, em termos quantitativos o manejo adotado ainda não se caracteriza como SPD. Porém, após a coleta de dados para as diferentes coberturas (PC) algumas regiões aumentaram a quantidade de fitomassa e outras diminuíram em relação aos quantitativos da VE. Essa característica em parte é influenciada pelo clima da região. Em regiões mais quentes, onde as altas temperaturas, aliadas à umidade proporcionada pela alta intensidade de chuvas no verão, ou sob cultivo irrigado, aceleram a decomposição da matéria orgânica e reduz o acúmulo de carbono orgânico total no solo (Sales et al., 2016. Giubergia, Martellotto, Lavado, 2013).



**Figura 5.** Produtividade de massa seca após o manejo das plantas de cobertura (MS\_PC). Coordenadas UTM – Datum; WGS 84, zona 24S e escala de 1:600. Mossoró/RN.

Na pesquisa, o estabelecimento do SPD foi alcançado após o manejo da palhada proveniente do cultivo do milho (Figura 6). Na ocasião, com base na coleta de dados de MS, foi constatado que mesmo nas regiões com os menores valores de fitomassa seca (região amarelada do mapa), a cobertura já representa um bom aporte de palhada. Segundo Mulumba e Lal (2008) uma quantidade de cobertura morta acima de 4.000 kg.ha<sup>-1</sup> favorece o aumento da porosidade do solo, enquanto que 8.000 kg.ha<sup>-1</sup> possibilita a elevação da capacidade de água disponível do solo e favorece a retenção de umidade e a estabilidade dos agregados. Jordán et al. (2010) constataram que uma taxa de acumulação de cobertura do solo de 5.000 kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. minimizou o efeito do escoamento de sedimentos e a concentração de fluxo sob enxurrada em um Neossolo Flúvico no semiárido espanhol.



**Figura 6.** Produtividade de fitomassa seca após o cultivo do milho e manejo da cobertura do solo (MS\_Milho). Coordenadas UTM – Datum; WGS 84, zona 24S e escala de 1:600. Mossoró/RN.

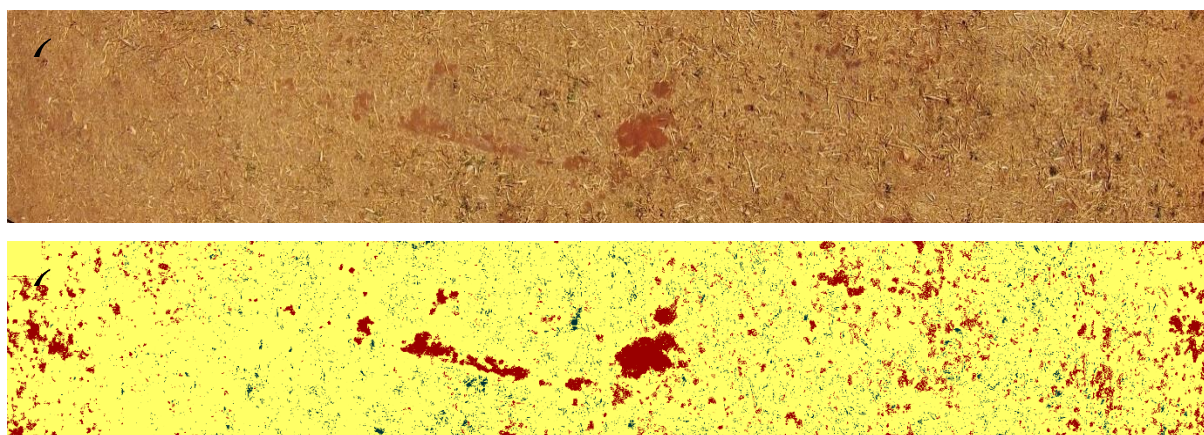
Na tabela 3 para as culturas de cobertura do solo (PC), houve diferença estatística, sendo que os tratamentos referentes ao plantio da crotalária e do sorgo foram superiores ao tratamento testemunha (vegetação espontânea) e semelhantes aos tratamentos com milheto e sorgo mais crotalária. Segundo Carvalho et al. (2016) a crotalária juncea exerceu efeitos positivos sobre a produtividade de grãos de milho, cultivado em sucessão em sistema plantio direto. Conforme Cavallari et al. (2017), quantidades semelhantes de massa seca foram encontrados para a crotalária juncea colhida aos 60 dias. Sales et al. (2016), em experimento conduzido em condições semelhantes de clima e solo, constatou que o maior volume de cobertura morta foi obtido em área cultivada com sorgo.

**Tabela 3.** Médias das variáveis de cobertura do solo, após o manejo da fitomassa com triturador horizontal, e produtividade do milho, após o cultivo das plantas de cobertura.

Tratamento	Fitomassa Seca	Rede Neural			Produtividade
	(kg.ha <sup>-1</sup> )	(%)			(t.ha <sup>-1</sup> )
	PC	VR	Palhada	SD	Milho
<b>Milheto</b>	2913 ab	3,14 a	89,40 a	7,46 a	2,79 a
<b>Crotalária</b>	4000 a	6,43 a	87,25 a	6,65 a	3,22 a
<b>Sorgo</b>	3507 a	3,65 a	89,22 a	7,14 a	2,52 a
<b>Vegetação Espontânea.</b>	1993 b	1,79 a	87,72 a	10,80 a	2,72 a
<b>Sorgo + Crotalaria</b>	3107 ab	3,61 a	89,83 a	5,60 a	2,80 a
<b>CV (%)</b>	23,24	80,77	4,94	55,83	16,69

\*: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. VE = Vegetação Espontânea PC = Plantas de Cobertura; VR = Vegetação Remanescente. SD = Solo Descoberto.

As médias dos tratamentos para as variáveis de PAC não diferiram estatisticamente (Tabela3). Ou seja, no processamento das imagens em redes neurais para avaliar o percentual de área coberta foi constatado que ao fim do manejo na palhada do milho a cobertura percentual do solo apresentou uniformidade (figura 7). Em termos práticos o manejo conservacionista adotado e a eficiência do triturador horizontal (Triton 3600) favoreceram a obtenção do bom percentual de área coberta determinado com o processamento das imagens aéreas. Segundo Theodoro et al. (2018) a análise da cobertura do solo por meio de captura de imagens foi bastante ágil, quando comparado a outros métodos, sendo uma opção atrativa e bastante confiável. Na avaliação total da fitomassa, em quantidade de MS e de PAC, o manejo adotado superou o critério estabelecido por Alvarenga et al. (2001), pelo qual para caracterizar o SPD é necessário obter-se, pelo menos, 50% da superfície do solo coberta e, no mínimo, 6 t.ha<sup>-1</sup> de resíduos. Para o estabelecimento da cobertura do solo a fragmentação, o acamamento e a incorporação da fitomassa devem ser entendidas como operações de preparação ou de condicionamento da biomassa para atingir os resultados esperados (Peché Filho; Ambrosano; Luz, 2014).

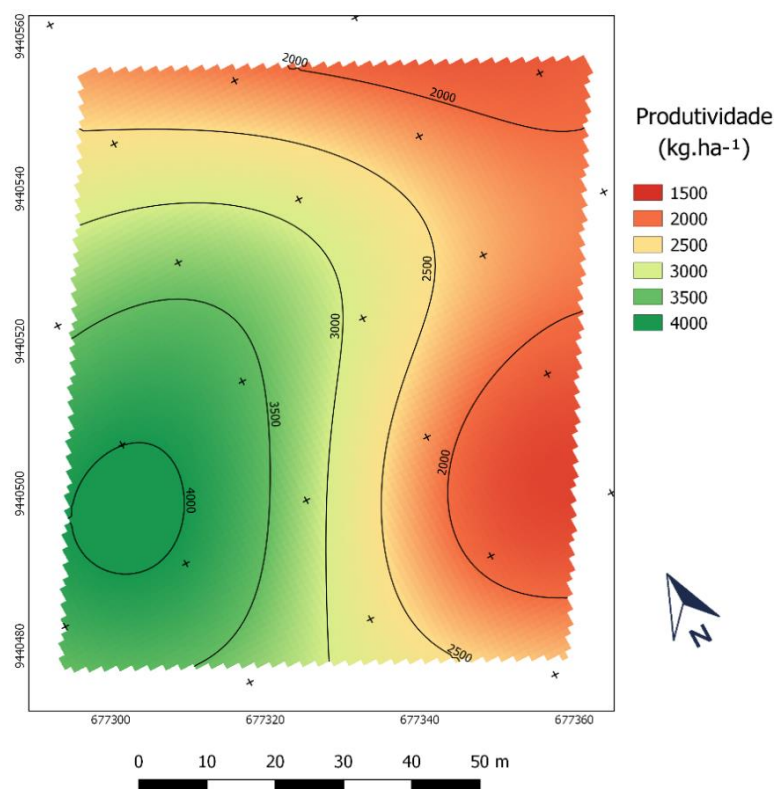


**Figura 7.** Exemplo do processamento em redes neurais no SisCob 1.0. (A); imagem real da parcela 1 tomada a aproximadamente 20 m de altura, (B); Processamento da imagem na qual: Amarelo = Palhada (89,94%), Vermelho = Solo Descoberto (2,56%) e Verde = Vegetação Remanescente (7,49%).

As médias da produtividade do milho não diferiu estatisticamente com base nas culturas antecessoras (PC) (tabela 1). Nascente et al. (2014) não obteve diferenças na produtividade do milho em plantio direto em sucessão a espécies de cobertura e sob manejos de solo diferentes. Segundo Pedrotti et al. (2017) a adoção de sistemas conservacionistas quando associados ao cultivo de plantas eficientes na absorção de nutrientes, promovem maior ciclagem destes, contribuindo para a elevação da produtividade do milho em cultivos sucessivos a longo prazo. Sistemas de plantio direto de longo prazo preservaram a qualidade estrutural e condições físicas adequadas do solo para o crescimento das culturas (Moraes et al., 2016).



Na produtividade de grãos, para o tipo de solo onde foi cultivado, encontrou-se que, as maiores valores de produção para a variedade BRS Gorutuba estão representadas no mapa pela cor verde (figura 8). Ao avaliar cultivares de polinização aberta em sistema de plantio convencional, sob condições semelhantes de solo e clima, Câmara, (2007) obteve valores de produção inferiores aos obtidos nas regiões mais produtivas do presente experimento. Em dois anos de plantio direto no semiárido espanhol Muñoz et al. (2007) constataram incremento na produtividade do milho irrigado, melhoria nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, havendo aumento nos valores de conteúdo de água, carbono orgânico, nitrogênio, população microbiana e estabilidade de agregados.



**Figura 8.** Produtividade de grãos de milho da variedade BRS gorutuba em kg.ha<sup>-1</sup> sob o Sistema de Plantio Direto. Coordenadas UTM – Datum; WGS 84, zona 24S e escala de 1;600. Mossoró/RN.

O sistema de manejo adotado favoreceu o desenvolvimento e a condução da cultura do milho, principalmente no que se refere ao controle de pragas, uma vez que, não houve necessidade de intervenção química na cultura após sua emergência. Este benefício também foi observado por Sagrilo et al. (2009) quando utilizou o manejo agroecológico do solo usando a adubação verde em plantio direto. Na comparação entre os mapas de produtividade de grãos (Figura 8) e produtividade de massa seca após o cultivo milho (figura 6) observa-se similaridade dos maiores quantitativo produtivo na região esquerda do mapa, representada na cor verde.

## **4 CONCLUSÃO**

Os tratamentos com crotalária e com sorgo apresentaram as maiores quantidades de fitomassa de cobertura do solo.

A quantidade de fitomassa e o percentual de área coberta no fim do cultivo do milho é suficiente para caracterizar o Sistema Plantio Direto.

O manejo da vegetação com o picador horizontal é apropriado para a formação da cobertura do solo.

O sistema plantio direto favoreceu o manejo da cultura do milho, porém não houve diferença na produtividade do milho entre as coberturas avaliadas.

Os mapas confeccionados indicam que as maiores produtividades do milho ocorreram nas regiões do campo com as maiores quantidades de massa seca de cobertura do solo.

## REFERÊNCIAS

- Akaike, H. Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle. In: B. N. PETROV and F. CSAKI, eds. Second International Symposium on Information Theory. Budapest: Akademiai Kiado, v. 1 p. 267–281, 1973.
- Alvarenga, R. C.; Cabezas, W. A. L.; Cruz, J. C.; Santana, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. Informe Agropecuário, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.
- Amado, T. J. C., Pontelli, C. B., Santi, A. L., Viana, J. H. M., & de Souza Sulzbach, L. A. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 42, n. 08, p. 1101-1110, 2007
- Barcellos, M.; Motta, A. C.; Pauletti, V.; da Silva, J. C. P. M.; Barbosa, J. Z. Atributos químicos de Latossolo sob plantio direto adubado com esterco de bovinos e fertilizantes minerais. Comunicata Scientiae, v. 6, n. 3, p. 263-273, 2015.
- Blavet, D.; de Noni, G.; Le Bissonnais, Y.; Leonard, M.; Maillo, L.; Laurent, J.Y.; Asseline, J.; Leprun, J. C.; Arshad, M. A.; Roose, E. Effect of land use and management on the early stages of soil water erosion in French Mediterranean vineyards. Soil and Tillage Research, v. 106, n. 1, p. 124-136, 2009.
- Câmara, T. M. M. Rendimento de grãos verdes e secos de cultivares de milho. Revista Ceres, v. 54, n. 311, p. 87-92. 2007.
- Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Novak, J. M., Turco, R. F., & Konopka, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil science society of America journal, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- Carvalho, A. M., Coser, T. R., Rein, T. A., de Araujo Dantas, R., Silva, R. R., & Souza, K. W. Manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade do milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 50, n. 7, p. 551-561, 2015.
- Cavallari, L. A., Soares, C. M. J., de Oliveira, M. S., & Rambo, J. R. Produção de Fitomassa e Cobertura do Solo de Crotalaria juncea. Cadernos de Agroecologia, v. 11, n. 2, 2017.
- Cerdà, A. Effects of rock fragment cover on soil infiltration, interrill runoff and erosion. European Journal of Soil Science, v. 52, n. 1, p. 59-68, 2001.
- Coelho, M. E. H.; de Freitas, F. C. L.; Cunha, J. L. X. L.; Dombroski, J. L. D.; de Santana, F. A. O. Interferência de plantas daninhas no crescimento do pimentão nos sistemas de plantio direto e convencional. Revista Caatinga, v. 26, n. 4, p. 19-30, 2013.
- Ferreira, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e agrotecnologia, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- Grego, C. R.; Oliveira, R. P. de; Vieira, S. R. Geoestatística aplicada a agricultura de precisão. In: Bernardi, A. C. de C.; Naime, J. de M.; Resende, A. V. de; Bassoi, L. H.; Inamasu, R. Y. (Ed.). Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, cap. 5, p. 74-83. 2014.



- Jordán, A.; Zavala, L. M.; Gil, J. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena*, v. 81, n. 1, p. 77-85, 2010.
- Jorge, L. A. C.; Silva, D. J. C. B. *SisCob: manual de utilização*. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 18 p. 2009.
- Lima Filho, O. F., Ambrosano, E. J., Rossi, F., & Carlos, J. A. D. *Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil*. Embrapa, Capítulos 1-13, (2014).
- Minasny, B.; McBratney, A.B.; Whelan, B.M. *VESPER version 1.62*. Australian Centre for Precision Agriculture, McMillan Building A, v. 5, 2005.
- Moraes, MT, Debiasi, H., Carlesso, R., Franchini, JC, da Silva, VR, e da Luz, FB. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. *Soil and Tillage Research*, v. 155, p. 351-362, 2016.
- Mulumba, L.N., Lal, R. Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, v. 98, n. 1, p. 106-111, 2008.
- Muñoz, A.; López-Piñeiro, A.; Ramírez, M. Soil quality attributes of conservation management regimes in a semi-arid region of south western Spain. *Soil and Tillage Research*, v. 95, n. 1-2, p. 255-265, 2007.
- Nascente, A. S., Silveira, P. M., & Wander, A. E. Viabilidade agroeconômica de rotação de culturas e manejo do solo em áreas irrigadas por aspersão. *Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, v. 57, n. 1, p. 72-79, 2014.
- Oliveira L, Matsumoto, S., Silva, R., Silva, V., Oliveira, P. Métodos para quantificação e interpretação da distribuição espacial de cobertura do solo em cafezais arborizados. *Coffee Science*, Lavras, v. 9, n. 2. 2014.
- Park, S., Lee, H., & Chon, J. Sustainable monitoring coverage of unmanned aerial vehicle photogrammetry according to wing type and image resolution. *Environmental Pollution*, doi: 10.1016/j.envpol.2018.08.050. 2018.
- Peche Filho, A.; Ambrosano, E. J.; Luz, P. H. C. Semeadura e manejo da biomassa de adubos verdes. In: Lima Filho, O. F. de; Ambrosano, E. J.; Rossi, F.; Carlos, J.A.D. (Ed.). *Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática*. Brasília: Embrapa. v.1, cap. 4. p.169-187, 2014.
- Pedrotti, A., da Silva, T. O., Araújo, E. M., de Araújo Filho, R. N., & Holanda, F. S. R. Atributos químicos do solo modificados por diferentes sistemas de cultivo associados a culturas antecessoras ao cultivo do milho, nos Tabuleiros Costeiros. *Magistra*, v. 27, n. 3/4, p. 292-305, 2017.
- Pereira, V. da C.; Espínola Sobrinho, J. Oliveira, A. D.; Melo T. K. de; Vieira R. Y. M. Influência dos eventos de El Nino e La Nina na precipitação pluviométrica de Mossoró-RN. *Enciclopédia Biosfera. Centro Científico Conhecer*, v. 7, p. 1-13, 2011.
- Prosdocimi, M.; Jordán, A.; Tarolli, P.; Keesstra, S.; Novara, A.; Cerdà, A. The immediate effectiveness of barley straw mulch in reducing soil erodibility and surface runoff generation in Mediterranean vineyards. *Sci. Total Environ.* v. 547, p. 323-330, 2016.

- QGIS Development Team. QGIS 2.8.2 Lisboa. Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. 2015.
- Rêgo, L. G. D. S.; Martins, C.; Silva, E. F. D.; Silva, J. J. A. D.; Lima, R. N. D. S. Pedogenesis and soil classification of an experimental farm in Mossoró, State of Rio Grande do Norte, Brazil. *Rev. Caatinga*, v. 29, n. 4, p. 1036-1042, 2016.
- Sadeghi, S. H. R.; Gholami, L.; Homae, M.; KhalediDarvishan, A. Reducing sediment concentration and soil loss using organic and inorganic amendments at plot scale. *Soil Earth*, v. 6, n. 2, p. 445-455, 2015.
- Sagrilo, E. S., Leite, L. F. C., Galvão, S. D. S., & Lima, E. F. Manejo agroecológico do solo: os benefícios da adubação verde. Embrapa Meio-Norte. 2009.
- Sales, R. P., Portugal, A. F.; Moreira, J. A. A.; Kondo, M. K.; Pegoraro, R. F. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. *Revista Ciência Agronômica*, v. 47, n. 3, p. 429-438, 2016.
- Saturnino H. M. & Landers J. N. O meio ambiente e o plantio direto. Brasília, EMBRAPA-SPI. 116p. 1997.
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B: An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.
- Silva, A. A.; Galon, L.; Ferreira, F. A.; Tironi, S. P.; Ferreira, E. A.; da Silva, A. F.; Agnes, E. L. Sistema de plantio direto na palhada e seu impacto na agricultura brasileira. *Revista ceres. Brasil*, Jul-Ago, v. 56, n. 4, p. 496-506, 2009
- Silva, M. G. O.; de Freitas, F. C. L.; Negreiros, M. Z.; Mesquita, H. C.; de Santana, F. A. O.; de Lima, M. F. P. Manejo de plantas daninhas na cultura da melancia nos sistemas de plantio direto e convencional. *Horticultura Brasileira*, v. 31, n. 3, 2013.
- Silva, F. A.; Freitas, F. C.; Rocha, P. R.; Cunha, J. L. X. L.; Dombroski, J. D.; Coelho, M. E.; Lima, M. F. Milho para ensilagem cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional sob efeito de veranico. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, n. 1, p. 327-340, 2015.
- Silva filho, J. L. D., Borin, A. L. D. C., & Ferreira, a. C. D. B. Dry matter decomposition of cover crops in a no-tillage cotton system. *Revista Caatinga*, v. 31, n. 2, p. 264-270, 2018.
- Taylor, J. A., Chen, H., Smallwood, M., & Marshall, B. Investigations into the opportunity for spatial management of the quality and quantity of production in UK potato systems. *Field Crops Research*, v. 229, p. 95-102, 2018.
- Teófilo, T. D. S.; Freitas, F. C. L.; Medeiros, J. D.; Silva, D. D.; Grangeiro, L. C.; Tomaz, H. D. Q. Eficiência no uso da água e interferência de plantas daninhas no meloeiro cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional. *Planta daninha*, v. 30, n. 3, p. 547-556, 2012.
- Theodoro, G., Golin, H., Silva, M. S., Rezende, R. P., & de Abreu, V. L. S. Influência de sistemas de preparo na manutenção da palhada e resistência do solo à penetração. *JOURNAL OF NEOTROPICAL AGRICULTURE*, v. 5, n. 2, p. 25-30, 2018.

- Vasconcelos, R. F. B. D., Cantalice, J. R. B., Moura, G. B. D. A., Rolim, M. M., & Montenegro, C. E. D. V. Compressibility of a yellow latosol under different management systems with sugarcane. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 2, p. 525-536, 2012.
- Vian, A. L., Santi, A. L., Amado, T. J. C., Cherubin, M. R., Simon, D. H., Damian, J. M., & Bredemeier, C. Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. *Ciência Rural*, v. 46, n. 3, p. 464-471, 2016.
- Wang, J.; Huang, J.; Zhao, X.; Wu, P.; Horwath, W. R.; Li, H.; Jing, Z.; Chen, X. Simulated study on effects of ground managements on soil water and available nutrients in jujube orchards. *Land degradation & development*, v. 27, n. 1, p. 35-42, 2016.
- Warrick, A. W.; Nielsen, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (ed.). *Applications of soil physics*. New York : Academic, cap.2, p. 319-344. 1980.
- Wooldridge, J. & Harris, R. E. Effect of organic mulches and plastic sheet on soil temperature. *Deciduous Fruit Grower*, v. 41, n. 4, p. 118-121, 1991.

## **CAPÍTULO 2 –VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO E DA FITOMASSA NA TRANSIÇÃO PARA O SISTEMA PLANTIO DIRETO**

### **RESUMO**

O Sistema Plantio Direto (SPD) é uma forma de manejo bastante favorável as áreas de cultivo, pois altera as características do solo benéficas ao desenvolvimento das culturas. O presente trabalho tem por objetivo avaliar a variabilidade da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) e a quantidade de Massa Seca (MS) formada na etapa inicial e final do manejo em SPD. O principal manejo realizado na área foi feito com um picador horizontal que corta e tritura a vegetação a uma altura de 5 cm. O experimento foi implantado no período de setembro de 2016 a junho de 2018 em área sob coordenadas geográficas 5°03'37" de Latitude Sul e 37°23'50" de Longitude Oeste. A área experimental possui 6.300 m<sup>2</sup> e coletou-se 90 pontos bem distribuídos para o melhor entendimento da variabilidade espacial. Entre as variáveis coletadas em cada ponto, a RMSP foi obtida com um penetraógrafo eletrônico nas camadas de 0 à 10, 10 à 20, 20 à 30 e 30 à 40 cm e a MS, para o cálculo da quantidade de massa por hectare, foi coletada em área de 0,25 m<sup>2</sup> em cada ponto. A variabilidade espacial foi investigada com base na geoestatística, utilizando a krigagem ordinária. Nos semivariogramas foi constatado, em sua maioria, a dependência espacial moderada, com o modelo esférico apresentando as melhores condições de ajuste para a variável RMSP, a exceção foi a camada de 10 à 20 cm na condição inicial da investigação que se ajustou melhor ao modelo exponencial. Para MS o modelo gaussiano apresentou melhor ajuste. O alcance foi aceitável para todas as variáveis e a elaboração dos mapas evidenciou a relação entre os menores índices RMSP e o maior quantitativo de MS. Na prática, o manejo adotado proporcionou uma cobertura morta superior aos valores preconizados para o estabelecimento do SPD e alterou a RMSP do solo deixando o ambiente mais propício ao desenvolvimento radicular.

**Palavras-chave:** Manejo do Solo, Compactação, Geoestatística.

## CHAPTER 2 – SPATIAL VARIABILITY OF SOIL PENETRATION RESISTANCE AND COVER PHYTOMASS IN THE TRANSITION TO NO-TILLAGE SYSTEM

### ABSTRACT

The No Tillage System (SPD) is a very favorable form of management in the cultivated areas, as it alters the soil characteristics that benefit the development of crops. The present work aims to evaluate the variability of soil mechanical resistance to penetration (RMSP) and the amount of dry mass (MS) formed in the initial and final stages of SPD management. The main management carried out in the area was done with a horizontal shredder that cuts and crushes the vegetation to a height of 5 cm. The experiment was implemented in the period from September 2016 to June 2018, in an area under the geographic coordinates 5 ° 03'37 "South Latitude and 37 ° 23'50" West Longitude. The experimental area has 6,300 m<sup>2</sup>, where 90 well-distributed samples were collected for a better understanding of the variability. Among the variables collected at each point, the RMSP was obtained with an electronic penetrometer in the layers of 0-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm and the calculation of MS per hectare, was collected in an area of 0.25 m<sup>2</sup> at each point. The variability was investigated by means of geostatistics, with semivariograms being adjusted and values interpolated to the non - sampled sites by means of ordinary kriging. The adjusted semivariograms presented, in general, moderate spatial dependence. For the RMSP variable, the spherical semivariogram model presented the best fit. The exception was in the 10-20 cm layer, in the initial condition of the investigation, which fitted better to the exponential model. For the MS, in both the initial and final conditions, the Gaussian model presented the best fit. The obtained results indicate spatial dependence at distances greater than the dimensions of the plots. The mapping evidenced the relationship between the lower RMSP indexes and the higher amounts of MS. In practice, the adopted management provided a mulch that was superior to the recommended values for the establishment of SPD and altered the RMSP, leaving the environment more suitable to root development.

**Key words:** Soil Management, Compaction, Geostatistics.

## 1 INTRODUÇÃO

Em ambientes tropicais, o Sistema Plantio Direto (SPD) é uma forma de manejo bastante favorável as áreas de cultivo, uma vez que, ajuda a manter a estrutura do solo, minimizando os efeitos da degradação comumente observados pelas técnicas praticadas no modelo de cultivo convencional. Nesse sistema, a degradação do solo acontece em virtude do monocultivo, da remoção da vegetação original, da utilização de agroquímicos que prejudicam a atividade biológica dos solos, da baixa cobertura vegetal, da compactação do solo devido tráfego acentuado de máquinas, da depleção da matéria orgânica e da ausência de medidas de controle à erosão do solo (Carr et al., 2015; Laudicina et al., 2015; Tarolli et al., 2015).

No sistema plantio direto, umas das prioridades é mobilizar o mínimo possível a estrutura física e a vida biológica do solo, mantendo toda a cobertura morta de resíduos de colheitas anteriores ou mesmo aquelas culturas dessecadas para esse fim. A palhada que recobre o solo representa a essência desse sistema, com funções importantes em manter a umidade do solo ao reduzir a evaporação – efeito mulch (Silva et al., 2009).

Na melhoria das condições físicas do solo, o SPD reduz a temperatura na camada superficial do solo, estrutura o solo para a germinação ótima e desenvolvimento das raízes (Dahiya et al., 2007); diminuição da evaporação (Uson & Cook, 1995); favorece o dinamismo hídrico e as interações com os nutrientes (Campiglia et al., 2014); minimiza a resistência do solo a penetração das raízes em solos na capacidade de campo (Colombi et al., 2018). No quantitativo da fitomassa que recobre a camada superficial do solo em regiões semiáridas, valores acima de 4 t/ha já representam benéficos as propriedades físicas do solo Mulumba & Lal (2008).

A avaliação da qualidade física do solo, de preferência visando ao seu uso, o manejo e planejamento sustentável, deve ser feito por meio de propriedades físicas de fácil mensuração, como a resistência à penetração (Vasconcelos et al., 2012). A resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) 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 (Silva et al., 2008).

Na caracterização dos atributos físicos dos solos agrícolas, o desenvolvimento de mapas temáticos tem ajudado a melhor tomada de decisão, facilitando o entendimento da sua variabilidade no ambiente de produção. Esse recurso facilita o incremento de estratégias que auxiliam 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 dos componentes constituintes do solo, ajustada 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).

O presente trabalho tem por objetivo avaliar em dois anos de experiências a variabilidade da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) e a quantidade de Massa Seca (MS) formada a partir de práticas de cultivo conservacionistas do solo no semiárido do Estado do Rio Grande do Norte.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

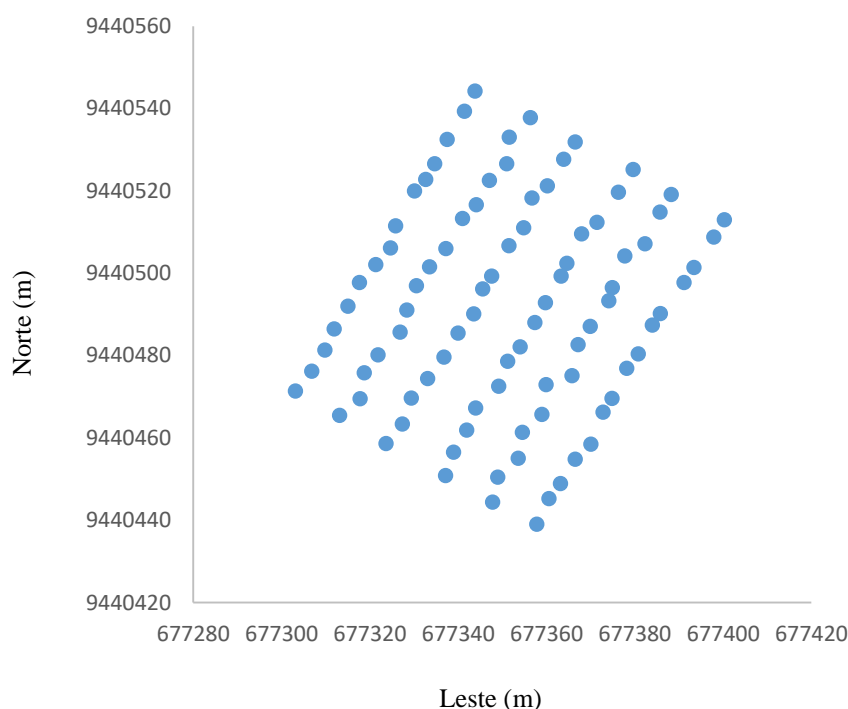
### 2.1 Características da área experimental

O ensaio experimental foi realizado na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), no período de setembro 2016 a junho de 2018, em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico argissólico (Rêgo et al. 2016). A localização geográfica corresponde a 5°03'37" de Latitude Sul e 37°23'50" de Longitude Oeste, com altitude média de 72 metros e declividade entre 0 e 2%. O clima (BSwh') é seco, muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono com temperatura média anual de 27,4°C, precipitação pluviométrica anual de 673,9 mm e umidade relativa do ar de 68,9% no outono (Pereira et al., 2011).

Até o ano de 2010, a vegetação predominante na área era a caatinga hiperxerófila; em 2011 a vegetação original foi removida e o solo foi preparado com escarificador e grade de discos para receber o cultivo do feijão-caupi em sistema de manejo convencional; no ano de 2012, o local ficou em pousio e no período de 2013 a 2014 a área foi novamente gradeada e recebeu a cultura do milho; após o cultivo do milho a área ficou em pousio até setembro de 2016. A área foi irrigada por sistema de aspersão convencional, cuja pressão de trabalho era de 25 mca, a vazão aproximada era de 530 L.h<sup>-1</sup>, o raio de alcance de 12 metros, e a altura do jato de 2,5 metros.

A área experimental possui 6.300 m<sup>2</sup> (70 m x 90 m) e sua conformação favorece a utilização de operações mecanizadas. Para a investigação da variabilidade espacial da fitomassa seca e da resistência mecânica do solo à penetração demarcou-se 90 pontos por meio de um receptor GPS de navegação (Garmin modelo 76 Csx), com precisão máxima de 7 m, configurado no sistema de coordenadas UTM segundo o datum WGS84. A distribuição dos pontos amostrais teve como critério um ponto no início, no centro e no fim de cada parcela (Figura 1).





**Figura 1.** Distribuição espacial dos pontos de amostragem de Resistência do Solo à Penetração e de fitomassa seca. Mossoró-RN.

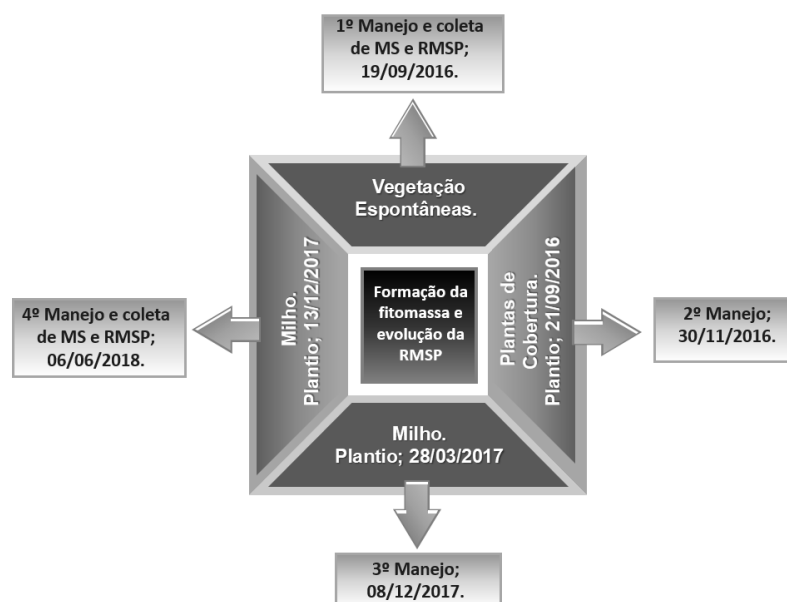
## 2.2 Manejo adotado

Para a formação da palhada, na fase inicial de adoção do SPD, (19/09/2016), (Figura 2) a vegetação espontânea foi manejada utilizando um triturador de palha (Triton-3600) da marca Jan, equipado com um conjunto de 84 facas e regulado para trabalhar a uma altura de 5 cm do solo; três dias depois, foi realizada a semeadura direta das culturas para cobertura do solo: *crotalária juncea* (*Crotalaria juncea* L.), *sorgo* (*Sorghum bicolor* L. e/ou Moench), *milheto* (*Pennisetum glaucum* L. e/ou R. Brown). Para isso, foi utilizada uma semeadora de fluxo contínuo, marca Tatu Marchesan, modelo PSA, com espaçamento entre linhas de 0,51 m. O controle das plantas espontâneas, na entrelinha das espécies cultivadas, foi realizado com uma roçadora manual a gasolina. No início da floração da maioria das espécies, aproximadamente 70 dias após o plantio, foi feito novamente o manejo da vegetação de cobertura com o triturador para a formação continuada da palhada.

A área ficou em descanso até março de 2017 e devido ao surgimento de plantas espontâneas por ocasião do período chuvoso aplicou-se o herbicida Paraquat<sup>®</sup>. Três dias após a aplicação, foi realizada a semeadura mecanizada do primeiro ciclo do milho, com a semeadora-adubadora de precisão pneumática, pantográfica, marca Marchesan, modelo PST4. A máquina foi regulada para obter um estande de aproximadamente 59.000 plantas/ha,

com espaçamento de 0,90 m entre linhas e 5,3 plantas por metro linear. O controle das plantas espontâneas na entrelinha também foi realizado com a roçadeira manual a gasolina, quando necessário. Após a colheita a área ficou em pousio até dezembro de 2017.

Como próxima etapa da pesquisa, realizou-se o segundo cultivo do milho, seguindo o mesmo manejo para o controle e formação da palhada, semeadura direta e controle das plantas invasoras na entrelinha. Porém, nesse novo cultivo, não houve a necessidade de uso do herbicida, uma vez que, a área ficou em descanso sob efeito de um intenso estresse hídrico, característica predominante do semiárido brasileiro no segundo semestre do ano. Por fim, a cultura desenvolveu-se e foi realizada a colheita. No dia 06/06/2018 toda a fitomassa presente, a palhada residual do milho e das plantas espontâneas foram trituradas com o uso do triturador horizontal (Triton).



**Figura 2.** Fluxograma das principais etapas de manejo realizadas para a formação da cobertura do solo e cultivo do milho em Mossoró-RN.

### 2.3 Variáveis Analisadas

No fim do primeiro e do quarto cultivo em SPD, após o manejo com o Triton (figura 3A), a cobertura vegetal do solo foi coletada para a quantificação da Massa Seca (MS). Para tal, foi lançado aleatoriamente um quadro de 0,5 x 0,5 m (Figura 3D). A seguir, o material vegetal correspondente à área interna do quadrado foi seco em estufa de circulação forçada a 65 °C por 72 h e pesados. Posteriormente, os resultados da variável MS foram convertidos e expressos em kg.ha<sup>-1</sup>.

Na área experimental, concomitantemente ao processo de coleta da MS, realizou-se o levantamento dos dados da variável RMSP por meio de penetrógrafo (Figura 3E) de cone com

sistema automático de medição (SoloTrack da Falker), equipado com haste de ponteira cônica de 12,83 mm de diâmetro que suporta uma força de até 90 kgf. Essas características estão em conformidade com as normas da ASAE S.313.3 (ASAE, 2004). Os dados coletados foram armazenados de centímetro em centímetro até a profundidade de 40 cm e analisados para as camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Em conjunto com as análises de RMSP, foram retiradas amostras de solo com um trado canaleta (figura 3B), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de profundidade, em três pontos distintos para a determinação do teor de água no solo (figura 3C).

A classificação utilizada para a RMSP foi a proposta por Arshad et al., (1996), na qual as classes são definidas conforme os valores de resistências do solo: extremamente baixa – valores menores que 10 KPa; muito baixa – de 10 à 100 KPa; baixa – de 100 à 1.000 KPa; moderada – de 1.000 à 2.000 KPa; alta – de 2.000 à 4.000 KPa; muito alta – de 4.000 à 8.000 KPa e extremamente alta – valores maiores que 8.000 KPa.



**Figura 3.** Práticas e equipamento para o manejo da área e coleta de dados: A - Manejo da vegetação com triturador horizontal – triton; B - Trado caneca e marreta para retirada do solo; C - Latas de alumínio para secagem do solo em estufa; D – Quadro de coleta e saco de papel para a cobertura vegetal; E – Penetrômetro automático.

## 2.4 Estatística descritiva e geoestatística das variáveis investigadas

Na análise descritiva calculou-se as medidas de posição, as de dispersão e as formas de distribuição dos valores. O teste de Shapiro & Wilk (1965) a nível de 5% de probabilidade foi utilizado para verificar o ajuste dos dados à distribuição normal. O coeficiente de variação (CV) foi considerado baixo quando menor que 15%, médio quando entre 15 e 50% e alto quando maior do que 50% (Warrick & Nielsen, 1980).

Na análise geoestatística o ajuste dos semivariogramas para a dependência espacial e a utilização de seus parâmetros no processo de interpolação por krigagem ordinária foi verificada pela equação da semivariância.

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

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).

Na análise dos semivariogramas testou-se os seguintes modelos:

(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  $0 < h < d$  para as variáveis em estudo.

O ajuste dos modelos de semivariograma de melhor ajuste considerou o menor valor da raiz quadrada do erro médio (RQEM) e de AIC (Critério de Informação de Akaike) (Akaike, 1973). O grau de dependência espacial dos semivariogramas foi avaliado segundo os intervalos propostos por Cambardella et al. (1994):  $GD < 25\%$  - forte dependência espacial;  $25\% < GD < 75\%$  - moderada dependência espacial e  $GD > 75\%$  - fraca dependência espacial.

O valor de  $GD$  é dado pela equação:

$$GD (\%) = C_0 \div (C_0 + C_1)$$

em que:  $C_0$  - efeito pepita;  $C_1$  - variância estrutural

O programa geoestatístico utilizado para verificar as tendências espaciais e identificar variações sistemáticas e randômicas foi o software Vesper 1.6 (Minasny et al., 2006). Para estimar os valores das variáveis nos locais não amostrados da área foi utilizado o método de interpolação por krigagem ordinária em blocos  $5 \times 5$  m com raio de busca por vizinhos de 20

metros, número mínimo de 12 pontos e máximo de 120. Com os valores interpolados foram gerados os mapas temáticos com auxílio do programa de geoprocessamento Quantum Gis 2.18 (Quantum Gis Development Team, 2015).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em campo, no levantamento das principais espécies de ocorrência natural foi constatado a presença da Salsa (*Ipomoea asarifolia* Roem. & Schult.), Malva veludo (*Sida cordifolia* L.), Malva branca (*Herissantia memorialis* Brizicky), Caruru (*Amaranthus spinosus*), Bredo (*Triantema portucastrun* L.), Capim pé de Galinha (*Chloris barbata* Sw.), Capim Carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.), Capim Rabo de Raposa (*Andropogon leucostachyus* Kunth), Jitirana (*Merremia aegyptia* L.), e Capim Amargo (*Paspalum paniculatum* L.), esta última com grande predominância.

O ajuste à distribuição normal somente foi verificado para a variável RMSP nas camadas de 20- 30 e 30-40 cm na coleta de final de dados da pesquisa (Tabela 1). Isso pode indicar que o manejo do solo alterou o comportamento espacial das variáveis no campo. A distribuição normal torna a krigagem mais eficiente na estimativa dos valores, mas não é requisito exigido para a krigagem. De acordo com Pereira et al. (2015) a ausência da normalidade em certos níveis de assimetria não diminuiu a robustez do interpolador.

**Tabela 1.** Estatística descritiva e teste de normalidade das variáveis resistência mecânica do solo a penetração (RMSP) nas quatro profundidades e fitomassa seca (MS) na fase inicial e final do manejo.

Variável	Média	Med	Mín	Máx	C	A	CV	Classif.	w	p
<b>Condição Inicial de Manejo</b>										
RMSP <sub>0-10</sub>	1013	797	166	3006	0,98	1,19	0,65	Alto	0,88	0,005**
RMSP <sub>10-20</sub>	1803	1634	654	4651	5,98	1,96	0,45	Médio	0,85	0,001**
RMSP <sub>20-30</sub>	2327	2230	1226	4941	1,68	1,02	0,28	Médio	0,94	0,0005**
RMSP <sub>30-40</sub>	2176	2124	1211	4616	2,95	1,32	0,28	Médio	0,91	0,016*
MS	2850	2543	1582	5858	1,73	1,31	0,33	Médio	0,86	0,001*
<b>Condição Final de Manejo</b>										
RMSP <sub>0-10</sub>	149	120	60	386	1,95	1,44	0,46	Médio	0,85	0,001*
RMSP <sub>10-20</sub>	474	426	90	1040	- 0,53	0,60	0,51	Alto.	0,94	0,0006**
RMSP <sub>20-30</sub>	866	318	192	1620	- 0,19	0,36	0,37	Médio	0,98	0,180 <sup>ns</sup>
RMSP <sub>30-40</sub>	1235	1256	507	2044	- 0,68	- 0,14	0,29	Médio	0,98	0,256 <sup>ns</sup>
MS	10.577	10684	8306	12898	-1,04	- 0,08	0,12	Baixo	0,96	0,009**

Med. = Mediana; Máx. = Valor Máximo; Mín. = Valor Mínimo; CV = Coeficiente de Variação; A = Assimetria; C = Curtose. Classif. = Classificação da variabilidade. W = valor do teste Shapiro Wilk; ns = não significativo indica ajuste à distribuição normal; \*e \*\*significativos (p<0,05 e 0,01)

O ajuste dos semivariogramas seguiu um padrão com relação ao número de pontos e sua tolerância. Dentre os modelos, em geral o Esférico foi característico da RMSP. Porém, na camada de 20-30 cm após o primeiro manejo, o modelo de melhor ajuste foi o exponencial (Tabela 2). O modelo esférico também foi predominante para RMSP em trabalhos realizados

por Oliveira Filho et al. (2015) e por Ferrari et al., (2018), que encontrou boa dependência espacial para RMSP por meio da geoestatística. O modelo de melhor ajuste para a variável massa seca (MS) foi o Gaussiano. O alcance, que representa a distância máxima na qual as amostras apresentam dependência espacial, em ambos os casos, foi maior do que as distâncias estabelecidas na grade de pontos. Isso indica que os valores médios das parcelas eram dependentes espacialmente dos valores das parcelas vizinhas. Segundo a classificação de Cambardella et al. (1994) o grau de dependência espacial das variáveis estudadas as classifica como moderadamente ou fortemente dependentes no espaço (Tabela 2).

**Tabela 2.** Parâmetros dos modelos ajustados dos semivariogramas para as variáveis RMSP, nas quatro profundidades, e MS na fase inicial e final do manejo no Sistema de Plantio Direto.

Variável	N.Lags	Tol	Co	Co+C1	A	Modelo	RMSE	AIC	GD	Clas.
Condição Inicial de Manejo										
RMSP <sub>0-10</sub>	25	35	174.915	425.642	48,58	Esférico	57.340	634,3	0,41	Mod
RMSP <sub>10-20</sub>	20	40	412.451	770.200	27,93	Exponencial	145.679	568,9	0,54	Mod
RMSP <sub>20-30</sub>	20	40	287.444	435.896	18,89	Esférico	92.205	550,1	0,66	Mod
RMSP <sub>30-40</sub>	20	40	179.715	401.687	36,18	Esférico	65.044	535,4	0,45	Mod
MS <sub>1</sub>	10	18	2.067.521	7.616.322	26,51	Gaussiano	485.443	320,4	0,27	Mod
Condição Final de Manejo										
RMSP <sub>0-10</sub>	20	35	1.769	5.216	53,26	Esférico	325	312,9	0,34	Mod
RMSP <sub>10-20</sub>	20	30	6.877	72.639	61,35	Esférico	5.874	434,4	0,11	Forte
RMSP <sub>20-30</sub>	20	30	23.435	132.847	73,57	Esférico	11.898	464,1	0,18	Forte
RMSP <sub>30-40</sub>	30	50	44.573	154.858	74,56	Esférico	9.039	677,2	0,28	Mod
MS <sub>2</sub>	15	20	621.854	1.690.718	28,73	Gaussiano	140.580	402,2	0,37	Mod

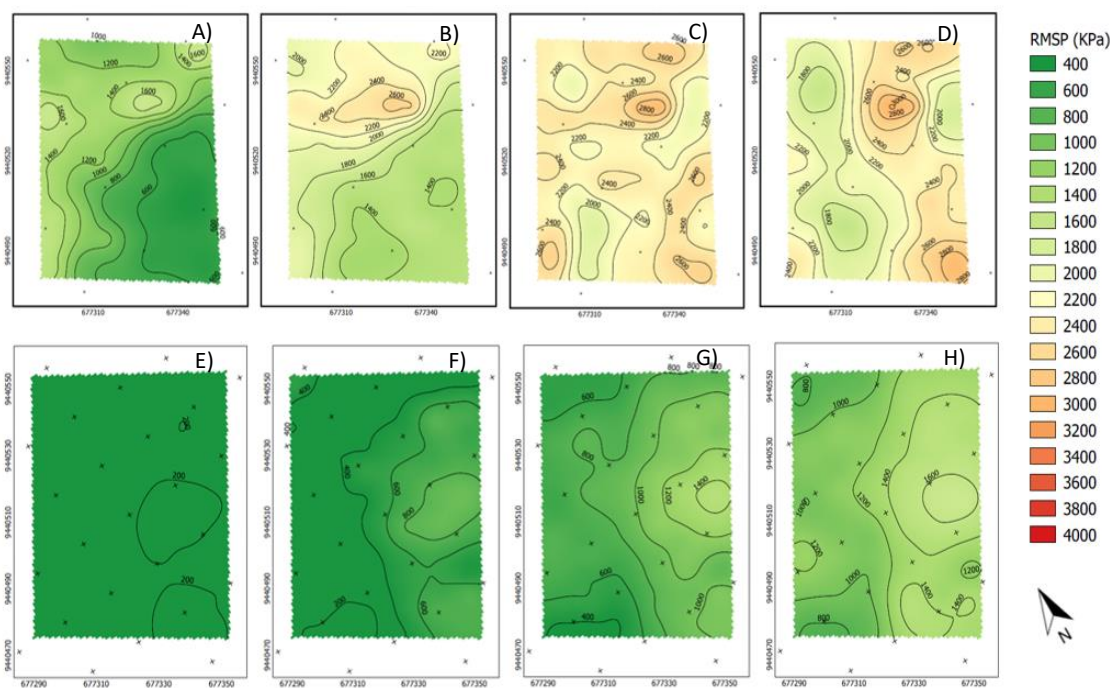
RMSP = Resistência Mecânica do Solo a Penetração; MS = fitomassa seca de cobertura do solo; N.Lags = Número de lags do semivariograma; Tol = Tolerância semivariograma; Co = Efeito Pepita; Co + C1 = Patamar; A = Alcance; GD = Grau de dependência espacial; Clas. = Classificação da dependência. AIC; Critério de Informação de Akaike e RMSE = Raiz Quadrada do Erro Médio; Mod = Moderada.

Para melhor visualização, adequaram-se os valores de RMSP a estabelecidos por Arshad et al, (1996) a uma escala de cores (Figura 4), na qual as regiões verdes são favoráveis ao desenvolvimento radicular, a região amarela possui restrição e as regiões com cores laranja e vermelha apresentam limitação ao desenvolvimento das raízes. Na coleta inicial, as Figuras 4 - A, B, C e D mostram regiões onde há limitação ao desenvolvimento radicular. Dentre as camadas observadas apenas a de 0 – 10 cm (figura 4- A) possui predominância de regiões totalmente adequadas ao desenvolvimento das raízes. As demais camadas, em especial a de 20 – 30 cm (Figura 4C) apresentam regiões que limitam o desenvolvimento radicular.

Na coleta final, a RMSP em toda a área foi adequada ao desenvolvimento das raízes em todas as camadas (Figura 4 - E, F, G e H). Nem mesmo as camadas mais profundas (20 – 40 cm) apresentaram limitações ao desenvolvimento radicular. Entre os dois momentos de

determinação foi observado que a utilização do SPD contribuiu para a diminuição dos valores da RMSP. Esse fato pode ser atribuído ao bom desenvolvimento radicular de todas as culturas durante o período de manejo no SPD. Segundo Carvalho et al, (2016) a resistência mecânica do solo à penetração pode interferir negativamente no crescimento de raízes e consequentemente afetar o desenvolvimento natural das plantas e causar decréscimo na produtividade.

Em proposta de manejo similar, Homma et al. (2012) encontraram melhor cobertura vegetal para o solo, maior diversidade de espécies vegetais, menor resistência do solo à penetração, melhor crescimento radicular na camada superficial do solo, maiores taxas de colonização por fungos micorrízicos, maior quantidade de esporos viáveis no solo, níveis significativamente mais altos de boro nas folhas e menor incidência de pragas em comparação com o manejo convencional.



**Figura 4.** Mapas dos teores de RMSP em KPa na fase inicial e final do manejo adotado. RMSP na fase inicial para as camadas; A- 0 à 10 cm, B- 10 à 20 cm, C- 20 à 30 cm e D- 30 – 40 cm e RMSP na fase final para as camadas; E- 0 à 10 cm, F- 10 à 20 cm, G- 20 à 30 cm e H- 30 à 40 cm. Coordenadas UTM – Datum; WGS 84, zona 24S e escala de 1;1500, Mossoró-RN.

Entre o início do manejo da área no Sistema de Plantio Direto os intervalos de RMSP diminuíram em todas as camadas e, assim, a classificação do impedimento ao desenvolvimento das raízes, que na condição inicial chegou a apresentar níveis altos e até muito altos, ao final do experimento foi muito baixo e baixo na camada mais superficial e baixo e moderado nas outras camadas (Tabela 3). Os teores de água no solo foram muito semelhantes na condição inicial e na condição final e existe indicação de que o teor de água



não influenciou a resistência do solo. Essa constatação vem do fato de que ocorreu aumento nos valores de RMSP com o aumento da profundidade e que este aumento foi acompanhado por pequeno aumento no teor de umidade do solo, quando se sabe que o aumento da umidade causa diminuição na resistência do solo. De acordo com Colombi et al. (2018) em solos com elevados valores de RMSP a dinâmica da distribuição de água é alterada negativamente e diminui a zona de influência das raízes afetando o desenvolvimento das culturas.

**Tabela 3.** Intervalos de valores de Resistência do Solo à Penetração (RMSP) para cada camada, respectiva classificação de impedimento ao desenvolvimento radicular MSP e teor médio de água do solo ao início e ao final do manejo no Sistema de Plantio Direto.

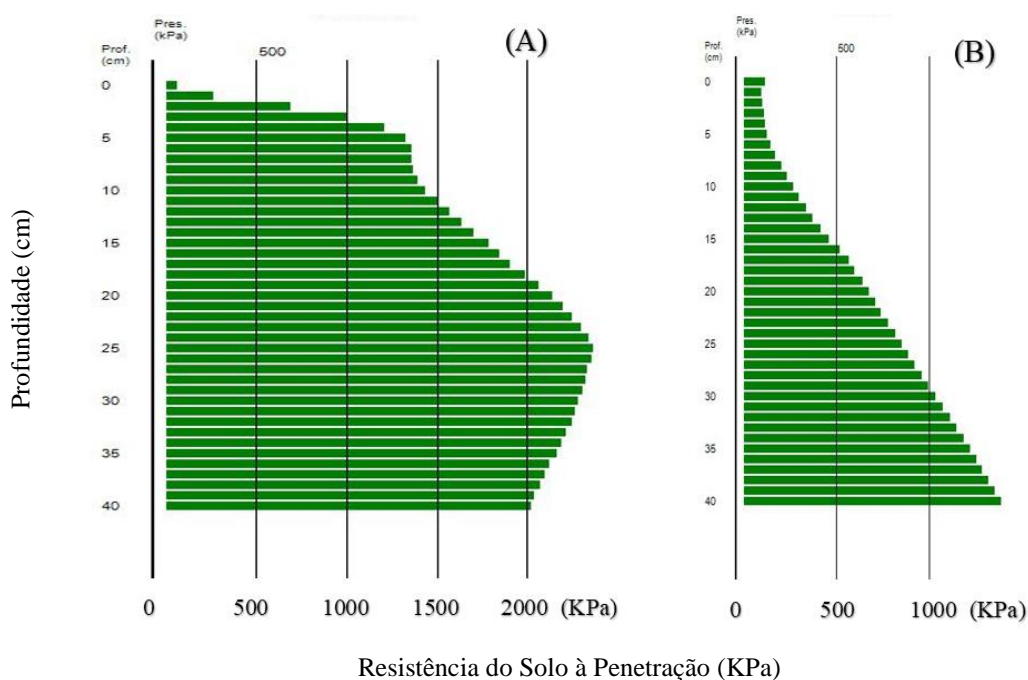
Variáveis	Intervalo (KPa)	Impedimento	Cor Relacionada	Teor de água (%)
<b>Condição Inicial</b>				
RMSP <sub>0-10</sub>	600 a 1.600	Baixo e moderado	Verde e Amarela	2,98
RMSP <sub>10-20</sub>	1.400 a 2.600	Moderado e alto	Amarela e Laranja	3,79
RMSP <sub>20-30</sub>	2.000 a 2.800	Alto	Laranja	4,38
RMSP <sub>30-40</sub>	1.800 a 3.000	Alto e Muito Alto	Laranja e Vermelha	5,02
<b>Condição Final</b>				
RMSP <sub>0-10</sub>	0 a 200	Muito baixo e baixo	Verde	3,83
RMSP <sub>10-20</sub>	200 a 800	Baixo e moderado	Verde e Amarela	4,13
RMSP <sub>20-30</sub>	400 a 1.400	Baixo e moderado	Verde e Amarela	4,02
RMSP <sub>30-40</sub>	800 a 1.600	Baixo e moderado	Verde e Amarela	4,77

RMSP = Resistência Mecânica do Solo a Penetração; KPa = Kilopascal.

Na representação gráfica da RMSP em profundidade (vertical) é possível verificar o comportamento da pressão exercida para a penetração da haste na média de todos os pontos avaliados no manejo inicial (figura 5 A) e manejo final (figura 5 B) das coberturas. Na figura 5 A, a pressão da inserção da haste no solo atingiu os maiores valores na camada de 20 à 30 cm os valores de KPa. É possível que nessa camada, exista uma condição de impedimento ao crescimento das raízes que foi agravada pelos manejos anteriores. Resultados semelhantes foram encontrados por Souza et al. (2014) utilizando um penetrômetro eletrônico em Argissolo Amarelo, onde os valores de RMSP foram crescentes em profundidade e mais evidentes na camada de 20 à 40 cm.

Em relação aos dados de resistência após o manejo final das coberturas (figura 5 B) o padrão verificado em profundidade foi modificado em função do manejo, possivelmente devido ao desenvolvimento radicular das espécies cultivadas. Nesta condição, os valores de RMSP não ultrapassaram 2.000 KPa e a resistência aumentou em profundidade. Em seus estudos Reis et al. (2016) verificaram que ao longo do tempo o sistema plantio direto reduz a densidade, a resistência do solo à penetração e a relação micro/macroporos, em razão do aumento na porosidade total e no diâmetro médio ponderado dos agregados. Segundo

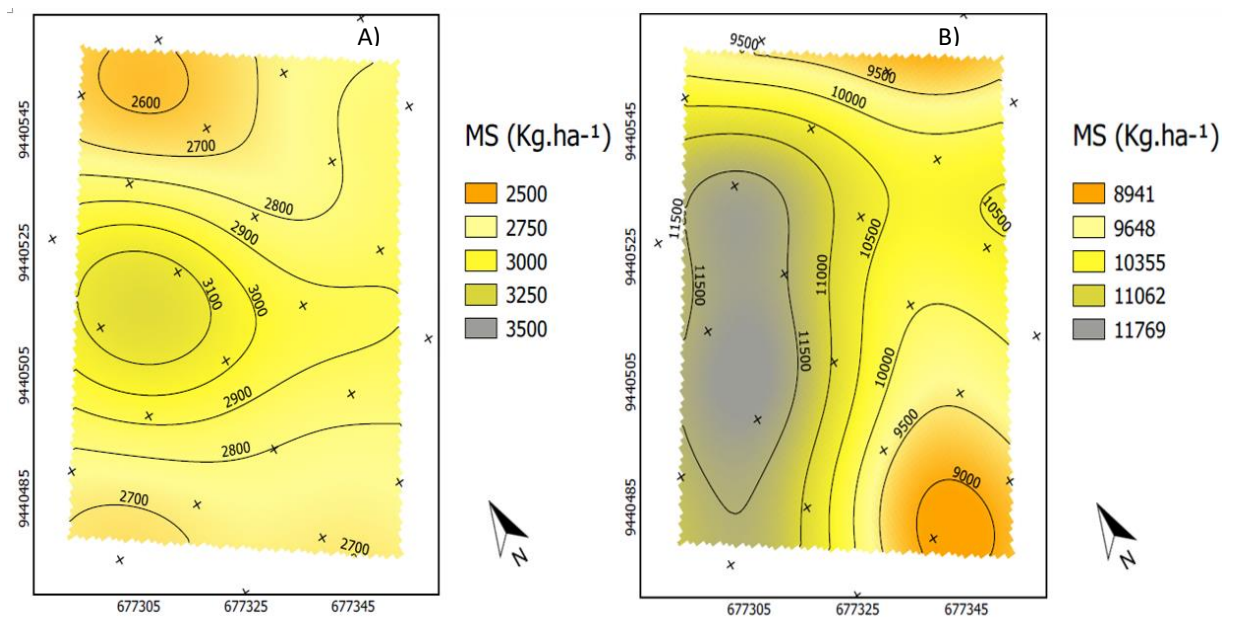
considerações de Primavesi, (2002) práticas de manejo benéficas ao sistema solo garantem sustentabilidade ao ambiente agrícola.



**Figura 5.** Representação gráfica da média dos 90 pontos da RMSP a cada centímetro de profundidade, após o manejo inicial (A) e final (B) do solo em área sob SPD.

No final do manejo a quantidade de fitomassa analisada comprova as vantagens das práticas conservacionistas adotadas para a cobertura do solo no estabelecimento do plantio direto. De acordo com Mascarenhas & Wutke, (2014) regiões que apresentam altas temperaturas e umidades elevadas, como o semiárido brasileiro no período chuvoso ou sobre efeito da irrigação, provocam rápida decomposição da fitomassa no solo, dificultando a formação da cobertura necessária no solo quando se deseja estabelecer o plantio direto.

A produtividade de MS da vegetação de cobertura após sua trituração e distribuição atingiu valores médios de  $2800 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Figura 6 A). Após dois anos, ao final dos cultivos realizados, a fitomassa seca atingiu quantitativos médios de  $10.577 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Figura 6B) após o último manejo da cobertura. Esses resultados são importantes por terem sido obtidos com a adoção SPD em ambiente semiárido do Rio Grande do Norte sob irrigação.



**Figura 6.** Quantidade de massa seca de cobertura do solo em kg.ha<sup>-1</sup> após o manejo inicial do Sistema de Plantio Direto (A) e após o manejo final. Coordenadas UTM – Datum; WGS 84, zona 24S e escala de 1;1000. Mossoró.

Na avaliação total da última cobertura, a quantidade de fitomassa que recobre o solo supera o critério estabelecido por Alvarenga et al, (2001) que para ser considerado SPD, é preciso obter-se pelo menos 50% da superfície do solo coberta com no mínimo 6 t.ha<sup>-1</sup> de resíduos. Favarato et al. (2018) reforçam a importância da distribuição da palhada, bem como, o seu quantitativo na superfície do solo.

No comparativo entre os mapas de RMSP e quantitativo de massa seca (MS) ao fim de cada manejo foi perceptível que as regiões com os menores índices de resistência coincidiram com as regiões de maiores valores de fitomassa seca. Segundo Fiorini et al. (2018) o crescimento das raízes no campo é altamente afetado pelo sistema de cultivo adotado. Para Cruz et al. (2001) quando o ambiente agrícola é favorável o volume e a zona de exploração das raízes aumentam consideravelmente favorecendo a busca por nutrientes e água.

#### **4 CONCLUSÃO**

A resistência do solo à penetração diminuiu em todas as camadas estudadas devido ao manejo sob Sistema de Plantio Direto durante dois anos.

Na fase final do manejo sob Sistema de Plantio Direto as quantidades de fitomassa de cobertura do solo foram superiores aos valores preconizados para o estabelecimento do Sistema.

Os mapas confeccionados apresentam regiões onde os maiores valores de fitomassa de cobertura do solo coincidem com os menores valores de resistência do solo à penetração.

## REFERÊNCIAS

- Akaike, Hirotogu. Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle. In: B. N. PETROV and F. CSAKI, eds. Second International Symposium on Information Theory. Budapest: Akademiai Kiado, v.1. p. 267–281, 1973.
- Alvarenga, R. C.; Cabezas, W. A. L.; Cruz, J. C.; Santana, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. Informe Agropecuário, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.
- Arshad, M.A.; Lowery, B. & Grossman, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W. & JONES, A. J. eds. Methods for assessing soil quality. Madison, Soil Science Society of America (SSSA Special publication), v. 49. p. 123-141, 1996.
- ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Soil cone penetrometer-ASAE S 313.3. St. Joseph, p 2, 2004.
- Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Novak, J. M., Turco, R. F., & Konopka, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil science society of America journal, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- Campiglia, E.; Mancinelli, R.; di Felice, V.; Radicetti, E. Long-term residual effects of the management of cover crop biomass on soil nitrogen and yield of endive (*Cichorium endivia* L.) and savoy cabbage (*Brassica oleracea* var. *sabauda*). Soil & Tillage Research. v. 139, p. 1-7, 2014.
- 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.
- Carr, P. M.; Brevik, E. C.; Horsley, R. D.; Martin, G. B. Long-term no-tillage sequesters soil organic carbon in cool semi-arid regions Soil Horizons. in press, , v. 56, n. 6, 2015.
- Carvalho, F. T. B.; Avelar, R. I. S.; Costa, C. A.; Souza, C. G. Modificação da textura do solo para o cultivo de cenoura. Revista Agrarian. v.9, n.32, p. 112-117, 2016.
- Colombi, T., Torres, L. C., Walter, A., & Keller, T. Feedbacks between soil penetration resistance, root architecture and water uptake limit water accessibility and crop growth—A vicious circle. Science of the total Environment, v. 626, p. 1026-1035, 2018.
- 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.
- Cruz, J. C.; Pereira Filho, I. A.; Alvarenga, R. C. & Santana, D. P. Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 13-24, 2001.
- Dahiya, R.; Ingwersen, J.; Streck, T. The effect of mulching and tillage on the water and temperature regimes of a loess soil: experimental findings and modeling. Soil Tillage Res., v. 96, n. 1-2, p. 52-63, 2007.

- Favarato, L. F.; Souza, J. L.; Pereira, V. A.; e Guarçoni, R. Desempenho de máquinas e implementos para manejo de palhas e plantio direto na agricultura orgânica. 2018.
- Ferrari, J. M. S., Gabriel, C. P. C., Silva, T. B. G., Mota, F. D., Gabriel Filho, L. R. A., Tanaka, E. M. Análise da variabilidade espacial da resistência à penetração do solo em diferentes profundidades. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, v. 12, n. 2, p. 164-175, 2018.
- Fiorini, A.; Boselli, R.; Amaducci, S.; & Tabaglio, V. Effects of no-till on root architecture and root-soil interactions in a three-year crop rotation. *European Journal of Agronomy*, v. 99, p. 156-166, 2018.
- Homma, S. K., Tokeshi, H., Mendes, L. W., & Tsai, S. M. Long-term application of biomass and reduced use of chemicals alleviate soil compaction and improve soil quality. *Soil and Tillage Research*, v. 120, p. 147-153, 2012.
- Laudicina, V. A.; Novara, A.; Barbera, V.; Egli, M.; Badalucco, L. Long-term tillage and cropping system effects on chemical and biochemical characteristics of soil organic matter in a Mediterranean semiarid environment. *Land Degrad. Dev*, v. 26, n. 1, p. 45-53, 2015.
- Mascarenhas, H. A. A. & Wutke, E. B. Adubação, nutrição e fatores climáticos limitantes ao desenvolvimento dos adubos verdes. In: Lima Filho, O. F. de; Ambrosano, E. J.; Rossi, F.; Carlos, J.A.D. (Ed.). *Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática*. Brasília: Embrapa. v.1, cap. 5. p.189-224, 2014.
- Minasny, B.; McBratney, A.B.; Whelan, B.M. VESPER version 1.62. Australian Centre for Precision Agriculture, McMillan Building A05. The University of Sydney, NSW. (<http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa>), 2006.
- Oliveira, R. P.; Grego, C. R.; Brandão, Z. N. Geostatística aplicada na agricultura de precisão utilizando o vesper. Ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 32. ISBN 978-857035-572-0, 2015.
- Pereira, G. T., Teixeira, D. D., Souza, Z. M. D., Oliveira, I. R. D., & Marques, J. (2015). Stochastic simulations of calcium contents in sugarcane area. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 8, p. 767-772, 2015.
- Pereira, V. da C.; Espínola Sobrinho, J. Oliveira, A. D.; Melo T. K. de; Vieira R. Y. M. Influência dos eventos de El Nino e La Nina na precipitação pluviométrica de Mossoró-RN. *Enciclopédia Biosfera. Centro Científico Conhecer*, v. 7, p. 1-13, 2011.
- Primavesi, A. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. NBL Editora (2002).
- QGIS Development Team. QGIS 2.8.2 Lisboa. Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. 2015.
- Rêgo, L. G. D. S.; Martins, C.; Silva, E. F. D.; Silva, J. J. A. D.; Lima, R. N. D. S. Pedogenesis and soil classification of an experimental farm in Mossoró, State of Rio Grande do Norte, Brazil. *Rev. Caatinga*, v. 29, n. 4, p. 1036-1042, 2016.
- Reis, D. A., de Lima, C. L. R., & Bamberg, A. L. Qualidade física e frações da matéria orgânica de um Planossolo sob sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 9, p. 1623-1632, 2016.

- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B: An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.
- Silva, A. A.; Galon, L.; Ferreira, F. A.; Tironi, S. P.; Ferreira, E. A.; da Silva, A. F.; Agnes, E. L. Sistema de plantio direto na palhada e seu impacto na agricultura brasileira. *Revista ceres. Brasil*, Jul-Ago, v. 56, n. 4, p. 496-506, 2009.
- Souza, E. B.; 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
- Tarolli, P.; Sofia, G.; Calligaro, S.; Prosdocimi, M.; Preti, F.; Fontana, G. D. Vineyards in terraced landscapes: new opportunities from lidar data. *Land Degrad. Dev*, v. 26, n. 1, p. 92-102, 2015.
- Uson, A. & Cook, H. F. Water relations in a soil amended with composted organic waste. In: Cook, H.F., Lee, H.C. (Eds.), *Soil Management in Sustainable Agriculture*. Wye College Press, Wye, Ashford, Kent, pp. 453–460, 1995.
- Warrick, A. W.; Nielsen, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (ed.). *Applications of soil physics*. New York : Academic, cap.2, p. 319-344. 1980.
- Wutke, E. B.; Calegari, A.; Wildner, L. D. P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. *Lima Filho, of de; Ambrosano, E. J; Rossi*, p. 59-168, 2014.

### **3 CONCLUSÃO GERAL**

O manejo e controle da vegetação de cobertura sem o revolvimento da camada agricultável do solo contribuiu para a diminuição dos valores de RMSD e consolidou a prática do SPD em região semiárida do Rio Grande do Norte, característica extremamente relevante em virtude da dificuldade em manter os quantitativos necessários de palhada para considerar o SPD. A Alteração na forma de manejo do solo utilizando a prática conservacionista do SPD favoreceu o desenvolvimento da cultura do milho e possibilitou a realização de um controle mecânico alternativo, por meio de roçadeiras a gasolina, das plantas espontâneas após a emergência da cultura principal. Essa adaptação no manejo minimizou o uso de herbicida, tornou o controle mecânico relativamente rápido e gerou um maior quantitativo de resíduos para a formação da palhada sem movimentação da camada superficial do solo. O sistema de manejo adotado tem potencial para ser usado por pequenos produtores interessados em desenvolver o SPD.