



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

VALBERTO RÔMULO FEITOSA PEREIRA

VARIÁVEIS CRÍTICAS PARA ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DO MILHO
EM FUNÇÃO DA POPULAÇÃO E ESPAÇAMENTO

FORTALEZA
2018

VALBERTO RÔMULO FEITOSA PEREIRA

VARIÁVEIS CRÍTICAS PARA ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DO MILHO EM
FUNÇÃO DA POPULAÇÃO E ESPAÇAMENTO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alessandro Chioderoli.

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Albiero.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P496v Pereira, Valberto Rômulo Feitosa.
Variáveis críticas para estimativa de produtividade do milho em função da população e espaçamento /
Valberto Rômulo Feitosa Pereira. – 2018.
100 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Carlos Alessandro Chioderoli.

1. Componentes da produção. 2. multivariada. 3. semiárido. I. Título.

CDD 630

VALBERTO RÔMULO FEITOSA PEREIRA

VARIÁVEIS CRÍTICAS PARA ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE EM FUNÇÃO DA
POPULAÇÃO E ESPAÇAMENTO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte do requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Aprovada em: 31/01/2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Alessandro Chioderoli (UFC)
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Daniel Albiero (UFC)
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva (UFC)
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Claudemir Silvino Leandro (UECE)
Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Mariano da Franca Alencar Neto (IFCE)
Instituto Federal de Ensino, Básico e Tecnológico do Ceará

A Deus.

A minha mãe.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela força e bênção nesta caminhada.

A minha esposa Silvia Cristina pela paciência e minha mãe Maria Feitosa por sempre acreditar e orar por esta Vitória.

RESUMO

O milho constitui-se em um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo. O objetivo deste trabalho foi encontrar um grupo de variáveis independentes que influencie e estime a produtividade do milho (*Zea mays L.*) modelado por regressão linear múltipla. O experimento foi realizado na Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE em Argissolo Vermelho Amarelo, o delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados, esquema fatorial 2 x 2, sendo, duas populações (45.000 e 65.000 plantas ha⁻¹) e dois espaçamentos (0,45 e 0,90 m), com 20 repetições. O modelo encontrado consiste em uma combinação linear do logaritmo de diversos fatores, como a produção por hectare, o número de espigas por hectare, o número de grãos por fileira, o número de fileiras e o peso do grão. Analisou-se os pressupostos do modelo como à ausência de autocorrelação serial entre os resíduos, multicolinearidade entre as variáveis independentes, normalidade dos resíduos, homoscedasticidade dos resíduos, linearidade dos coeficientes. O passo seguinte foi verificar por meio do modelo a estimativa da produtividade com aproximação do real, para isto foram utilizados dados dos experimentos realizados em campo por outros autores. Os resultados mostraram que as variáveis, pela ordem de impacto na produtividade, são: EH (espigas por hectare), NGF (número de grãos por fileira), MCG (massa dos 100 grãos) e NF (número de fileiras). O modelo se mostrou eficaz, necessitando de calibração em todos os casos, devido a possíveis alterações que as variáveis possam sofrer independente do manejo e fatores ambientais.

Palavras-chave: Componentes da produção. Multivariada. Semiárido.

ABSTRACT

Corn is one of the most important cereals grown and consumed in the world. The objective of this work was to find a group of independent variables that influence and estimate maize (*Zea mays* L.) productivity modeled by multiple linear regression. The experimental design was in a completely randomized blocks, 2 x 2 factorial scheme, being two populations (45,000 and 65,000 plants ha⁻¹) and two spacing (0.45 and 0.90 m), with 20 replicates. The model found consists of a linear combination of the logarithm of several factors, such as yield per hectare, number of ears per hectare, number of grains per row, number of rows and weight of grain. The assumptions of the model were analyzed as to the absence of serial autocorrelation between the residues, multicollinearity between the independent variables, residue normality, homoscedasticity of the residues, linearity of the coefficients. The next step was to verify through the model the estimation of the productivity with approximation of the real, for this we used data from the experiments carried out in the field by other authors. The results showed that the variables, in order of impact on productivity, are: EH (spikes per hectare), NGF (number of grains per row), MCG (mass of 100 grains) and NF (number of rows). The model proved to be effective, requiring calibration in all cases, due to possible changes that the variables can suffer regardless of the management and environmental factors.

Keywords: Production components. Multivariate. Semiarid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Divisão da análise multivariada.....	21
Figura 2 – Localização da área experimental.....	37
Figura 3 – Dados meteorológicos relativos ao período de condução do experimento.....	39
Figura 4 – Croqui da área experimental com os tratamentos utilizados.....	41
Figura 5 – Altura da planta, altura de inserção da 1ª espiga e diâmetro do colmo.....	42
Figura 6 – Contagem do número de fileira por espiga e número de grãos por fileira.....	42
Figura 7 – Demarcação da área e semeadura.....	54
Figura 8 – Gráfico pressuposto de regressão.....	55
Figura 9 – Gráficos de resíduos.....	61
Figura 10 – Análise do teste de Durbin-Watson para autocorrelação dos resíduos.....	61
Figura 11 – Efeitos da multicolinearidade.....	63
Figura 12 – Gráfico do qui-quadrado <i>versus</i> Q-Qplot.....	65
Figura 13 – Gráfico de dispersão para a homoscedasticidade (variável dependente - Produção log).....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características físicas iniciais do solo da área experimental.....	38
Tabela 2 – Características química do solo da área experimental	38
Tabela 3 – Análise de variância das características agronômicas avaliadas em função das populações de plantas (P) e dos espaçamentos entre linhas (E).....	44
Tabela 4 – Análise de variância das características agronômicas avaliadas em função das populações de plantas (P) e dos espaçamentos entre linhas (E).....	46
Tabela 5 – Desdobramento para a umidade dos grãos em função da população de plantas (P) e do espaçamento entre linhas (E).....	46
Tabela 6 – Desdobramento para o diâmetro do colmo em função da população e do espaçamento.....	47
Tabela 7 – Testes de Normalidade.....	58
Tabela 8 – Testes de Normalidade.....	62
Tabela 9 – Componentes da Equipe para realização do Brainstormin.....	67
Tabela 10 – Análise de variância para os atributos físicos do solo.....	69
Tabela 11 – Correlação de Pearson entre as variáveis.....	70
Tabela 12 – Teste de normalidade dos resíduos.....	72
Tabela 13 – Coeficientes para a variável dependente Log (produção por hectare).....	73
Tabela 14 – Resumo do modelo para a variável dependente produção por hectare.....	73
Tabela 15 – Teste de normalidade para a estimação da produtividade (kg ha-1)*.....	75
Tabela 16 – Teste de normalidade para a estimação da produtividade (kg ha-1)**.....	76
Tabela 17 – Média para a comparação da produtividade (kg ha-1) entre os pares.....	77
Tabela 18 – Resultado da modelagem para a produtividade*.....	77

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
3	DESEMPENHO AGRONÔMICO DA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DA POPULAÇÃO ENTRE PLANTAS E ESPAÇAMENTOS EM PLANTIO DIRETO.....	35
4	ANÁLISE MULTIVARIADA NA PRODUTIVIDADE DO MILHO EM FUNÇÃO DA POPULAÇÃO DE PLANTAS E ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS	50
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
	REFERÊNCIAS	82
	ANEXO A - ANOVA PARA OS COMPONENTES PRODUTIVOS DO MILHO.....	100

1 INTRODUÇÃO GERAL

A produção de alimentos é uma das atividades mais importantes para a sobrevivência da humanidade, por isso observamos o constante desenvolvimento de técnicas de plantio, melhoramento genético, inovação nas ferramentas ou máquinas usadas no campo, tudo com o objetivo de aumentar a produtividade, diminuir os insumos e custos de operação, tornando, assim, a agricultura mais eficiente.

Nesse contexto, o mercado de milho é promissor, em especial na região Nordeste do país, uma vez que atualmente seu cultivo ocorre durante todo o ano, inclusive sob sistema de sequeiro ou condições de irrigação.

A produtividade do milho depende do nível tecnológico e da interação entre os fatores genéticos, ambientais e de manejo da cultura, portanto estudos voltados para a cultura do milho em função do espaçamento são importantes, pois evidenciam o comportamento diferenciado cultivar dessa cultura nos espaçamentos estudados dependendo da região. A literatura mostra a correlação entre a produtividade e algumas variáveis de característica ambiental e outras genéticas, porém estar correlacionada não significa ser a causa desses fatores.

Estimar a produtividade de forma eficiente ajuda o pequeno e o médio produtor em seu planejamento e na escolha de manejo e cultivares que aumentem sua produção. Existem modelos para estimar a produtividade, uns são sofisticados ao ponto de inviabilizar seu uso pelo pequeno e médio produtor, outros não apresentam metodologia para sua calibração e não têm uma justificativa matemática em suas construções.

Nesse sentido, a estatística é uma área que nos ajuda a captar as informações ocultas contidas nos dados, através de suas técnicas. Um dos ramos que vem avançando nesta área é Análises Multivariada de dados, com suas técnicas que permitem analisar mais de uma informação sobre um objeto ou indivíduo.

A análise estatística multivariada surgiu como importante ferramenta de obtenção de uma maior quantidade de informação que dificilmente seria gerada com o uso de métodos univariados. O uso de técnicas de estatística multivariada avalia simultaneamente as variáveis, identificando aquelas com real poder de discriminação, o que permite a compreensão dos relacionamentos entre as variáveis e as classes de qualidade que se agrupam.

Deste modo, este trabalho tem como hipótese examinar as correlações existentes entre os vários tipos de variáveis e a produtividade para determinar quais delas efetivamente têm poder preditivo e estimam a produtividade da cultura do milho. A fim de examinar o poder preditivo e construir um modelo para estimar a produtividade, utilizou-se regressão linear múltipla. Um modelo matemático prático e acessível com forte embasamento estatístico ou matemática que ateste seu surgimento se faz necessário, para que dados de experimentos futuros possam ser mais próximos da realidade e auxiliem o produtor em seu planejamento.

Assim, objetivou-se com este trabalho foi encontrar grupo de variáveis independentes que influenciam e estimem a produtividade do milho (*Zea mays L.*) modelado por regressão linear múltipla em função da população de plantas e espaçamentos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A cultura do milho

O milho é uma das culturas mais importantes para a humanidade, devido a seu alto potencial produtivo e às diversas formas de utilização na alimentação humana (1,4%) e animal, sendo 43% na avicultura, 26,1 % na suinocultura, 4,8% na pecuária e 2,1% com outros animais, além de 13 % destinado à exportação e 8,2 % para a indústria de alta tecnologia (GALVÃO *et al.*, 2014; ABIMILHO, 2016).

Deste modo, o milho (*Zea mays L.*) é o cereal mais cultivado no mundo. Na safra 2015/2016, sua produção foi de 973,87 milhões de toneladas (USDA - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, 2016). No Brasil, a área cultivada com essa cultura foi de 15,5 milhões de hectares, com uma produção de 40,7 milhões de toneladas e uma produtividade média de 4.818 kg ha⁻¹ (CONAB, 2016).

Os principais produtores mundiais de milho são os EUA (37,3%), a China (21,0%) e o Brasil (8%) (FAO, 2012). Entretanto, apesar da importância dessa cultura, sua produtividade no Nordeste brasileiro ainda é considerada baixa, uma vez que há relatos de que o potencial produtivo da cultura é de 19.113 kg ha⁻¹ (ASSIS *et al.*, 2006) em condições experimentais. Isto está relacionado com as condições climáticas, ao arranjo espacial de plantas, bem como à fertilidade do solo e práticas de manejo inadequadas (SANGOI *et al.* 2010; CHIORDEROLI *et al.*, 2012).

Segundo Amado *et al.* (2002), os principais fatores que interferem na produtividade dessa cultura são: condições climáticas, manejo de nutrientes, fertilidade do solo, práticas culturais, potencial genético do material e manejo de pragas e doenças.

Duarte (2006) relata que as médias de produtividades do milho no Brasil são obtidas nas mais diferentes regiões, entrelaçando os diferentes sistemas de cultivo e finalidade, fazendo com que comprometa os valores médios satisfatórios obtidos em algumas regiões brasileiras.

Segundo Peixoto (2011), o Brasil já usa tecnologias utilizadas nos países com alto índice de rendimento, buscando aumentar sua produção, sendo que, atualmente, já é possível encontrar médias de 10.000 e 12.000 kg ha⁻¹. O mesmo autor ainda ressalta que é importante um bom manejo como: o controle de plantas daninhas

e insetos, qualidade de distribuição e quantidade de sementes, entre outros, pois não basta a tecnologia em si, mas sim uma difusão e adoção.

Outro fator limitante para a produção de milho no Nordeste tem sido a disponibilidade hídrica da região, cenário caracterizado pela irregularidade na distribuição temporal e espacial das chuvas (SILVA *et al.*, 2015). Nessas condições, deve-se ressaltar que o déficit hídrico é um dos fatores responsáveis pelas baixas produtividades das culturas em regiões semiáridas, merecendo destaque no que tange ao desenvolvimento de estratégias promissoras para mitigar seu efeito negativo (ALDERFASI *et al.*, 2016; WU *et al.*, 2017).

O arranjo de plantas de milho realizado por meio de alterações na densidade populacional, de espaçamentos entre linhas, de distribuição de plantas na linha e na variabilidade entre plantas é uma das práticas de manejo mais importantes para maximizar a interceptação da radiação solar, otimizar o seu uso e potencializar o rendimento de grãos (ARGENTA *et al.*, 2001).

A cultura do milho é bastante sensível às variações de densidades de plantas, sendo, um dos principais fatores que influencia na capacidade da lavoura em captar recursos do ambiente (CRUSCIOL *et al.*, 2007). O espaçamento entre linhas, por sua vez, tem uma forte relação com o arranjo espacial entre plantas, sendo passível de ajuste com o intuito principal de reduzir a competição intraespecífica (TOURINO *et al.*, 2002).

Vieira (2007) constatou que o número e a produtividade de espigas comerciais são influenciados negativamente pelo aumento da pressão populacional ao avaliar o efeito de densidades de plantio no comportamento agrônomo de cultivares de milho para produção de espigas verdes no Paraná.

Modolo *et al.* (2010), trabalhando com desempenho de híbridos de milho na região Sudoeste do Paraná sob diferentes espaçamentos entre linhas, concluíram que a redução no espaçamento entre linhas de 0,90 m para 0,45 m, promoveu aumento do número de espigas por planta e o incremento na produtividade de grãos na cultura do milho, porém com redução da altura de plantas e de inserção da primeira espiga.

Kappes *et al.* (2011), trabalhando com desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas, objetivando verificar o melhor em dois espaçamentos (0,45 e 0,90 m), concluíram que o rendimento de grãos é influenciado pelos arranjos espaciais de plantas e que a utilização de menor espaçamento entre linhas (0,45 m) proporciona a obtenção de plantas com maior diâmetro de colmo.

Avaliar novas cultivares de milho, em espaçamento reduzido entre as linhas e com diferentes densidades de plantas se faz necessário, uma vez que as novas cultivares disponíveis no mercado são mais produtivas, têm porte mais baixo e arquitetura foliar mais ereta, em relação aos materiais mais antigos, o que favorece a adoção de arranjo de plantas que permita distribuir de maneira mais equidistante as plantas na área, proporcionando aumentos da produtividade (ALVAREZ *et al.*, 2006, CRUZ *et al.*, 2007, GILO *et al.*, 2011).

Farinelli *et al.* (2012), ao avaliarem o efeito de três espaçamentos (40, 60 e 80cm) e três densidades populacionais nas características agrônômicas de dois híbridos de milho, não constaram diferença dos espaçamentos nos componentes de produção e na produtividade.

Deparis *et al.* (2007) também não verificaram aumentos significativos nos componentes de produtividade comparando espaçamentos de 90, 60 e 45 cm.

Porto (2011) verifica que, em espaçamentos mais abertos, o milho tem como característica apresentar maior altura de planta, por conseguinte, maior altura de inserção de espigas. Deparis *et al.* (2007) verificaram maiores massas dos grãos por espiga no espaçamento de 90cm, quando comparado com o de 60 cm e 45 cm.

Gonçalves Júnior *et al.* (2007) afirmaram que em menores espaçamentos, ocorre uma melhor interceptação da radiação solar pelo dossel da cultura contribuindo para o aumento no diâmetro do colmo. Já, Demétrio *et al.* (2008) verificaram que a redução do espaçamento entre linhas de 80cm para 40cm não afetou o diâmetro do colmo das plantas de milho.

Kappes *et al.* (2011) verificaram que a massa de grãos por espiga de cinco híbridos de milho de ciclo precoce e superprecoce não foi afetada significativamente com aumento de espaçamento de 45 para 90cm entre linhas. Calonego *et al.* (2011), avaliando dois espaçamentos (45 e 90 cm) na cultura do milho, verificaram maiores resultados da massa de espigas com palha no maior espaçamento avaliados.

A densidade de plantas é uma das práticas culturais que interferem no rendimento de grãos de milho devido à sua baixa capacidade de emissão de afilhos férteis, à sua organização floral monóica e ao curto período de florescimento (PIANA, 2008).

Com o acréscimo na densidade de plantas, é possível maximizar a eficiência da interceptação de luz pelo aumento do índice foliar, mesmo nos estádios fenológicos iniciais, melhorando o aproveitamento de água e nutrientes, reduzindo a

competição inter e intraespecífica por esses fatores, aumentando a matéria seca e a produção de grãos (ALMEIDA, 2000; AMARAL FILHO *et al.*, 2005).

Von Pinho *et al.* (2008) conseguiram a máxima produtividade de grãos com a densidade de 85.000 plantas ha⁻¹, estando esse resultado de acordo com os observados por Almeida (2000), Penariol *et al.* (2003), Resende (2003) e Shioga *et al.* (2004).

Nesse sentido, há necessidade de estudos regionais devido às interações que ocorrem entre as plantas de milho e o ambiente, afetando a arquitetura da planta, alterando o padrão de crescimento e desenvolvimento, e influenciando na produção de carboidratos (MELO *et al.*, 2011).

Pacheco *et al.* (1998), trabalhando com outras populações, encontraram altura de plantas variando de 1,50 a 2,50 m, e altura de espiga variando de 0,80 a 1,50 m. Dentre os componentes morfológicos, a altura de plantas, geralmente, não tem influência na produtividade, pois cultivares modernas, com alto potencial produtivo, são, em sua maioria, de porte baixo, porém pode-se também encontrar materiais de porte alto com performances semelhantes.

Uma grande altura de planta e a alta proporção entre as alturas de espigas e plantas podem fazer com que a cultivar apresente maior suscetibilidade ao acamamento, podendo, por vezes, não ser indicada para cultivo em locais com grande intensidade de ventos e com solos muito férteis (PAIXÃO *et al.*, 2008).

De acordo com Fancelli e Dourado Neto (2000), o colmo é uma importante característica para a produção, atuando como estrutura de armazenamento de sólidos solúveis que serão utilizados posteriormente na formação dos grãos, conferindo maior resistência ao acamamento, assim, o diâmetro do colmo normalmente apresenta correlação com a produtividade, por se tratar de um órgão de reserva da planta.

Segundo Ohland *et al.* (2005), a massa de grãos é uma característica influenciada pelo genótipo, pela disponibilidade de nutrientes e pelas condições climáticas durante os estádios de enchimento dos grãos, apresentando grande influência na produção final dessa cultura.

Atributos físicos do solo

Os atributos do solo como: a granulometria, a densidade, a porosidade, o teor de água do solo e a resistência à penetração têm sido largamente utilizados na avaliação do estado de compactação do solo (FLORES *et al.*, 2007).

A granulometria do solo é um dos atributos mais estáveis, sendo modificada levemente pelo cultivo e pelas outras práticas que ocasionam a mistura de diferentes profundidades (CRUZ *et al.*, 2014) interferindo em vários outros atributos físico-hídricos do solo.

Silveira *et al.* (2010) verificaram que pequenas alterações no conteúdo de água determinam grandes variações na resistência à penetração. Arcoverde (2013) constatou que solos mais arenosos são bem mais drenados e arejados, enquanto solos de textura fina possuem capacidade de drenagem inferior, porém com maior porosidade total em virtude do processo de microagregação que acontece nas partículas argilosas, retendo mais água.

A densidade do solo inclui o espaço compreendido dentro dos agregados e entre e entre eles, refletindo bem sobre as suas condições estruturais, bem como a textura que, em grande parte, sofre influência do manejo adotado (AMARO FILHO *et al.*, 2008).

Para Rossetti *et al.* (2012), a densidade do solo é um atributo físico que varia com o tempo, estas variações podem ocorrer por meio de processos naturais de adensamento e/ou práticas de manejo como cultivo, trânsito de máquinas agrícolas, incorporação de matéria orgânica, entre outros.

Dessa forma, Reichert *et al.* (2003) propuseram valores críticos de densidade para solos argilosos de 1,30 a 1,40 g cm⁻³, 1,40 a 1,50 g cm⁻³ para os franco-argilosos e de 1,70 a 1,80 g cm⁻³ para os franco-arenosos. Já Camargo e Alleoni (1997) consideraram crítico o valor de 1,55 g cm⁻³ em solos franco-argilosos a argilosos. Sá e Junior (2005) afirmam que solos arenosos possuem valores mais elevados de densidade em relação aos argilosos.

Segundo Carvalho *et al.* (2007), a umidade do solo pode ser utilizada com indicador do tipo e qualidade do solo. A umidade nas camadas do solo apresenta uma variabilidade importante nos domínios espacial e temporal que pode levar a manejos inadequados da água do solo (HU *et al.*, 2008).

Para a qualidade física, a resistência do solo à penetração é considerada, por Santana *et al.* (2006), a propriedade mais adequada para expressar o grau de compactação do solo e, conseqüentemente, a facilidade de penetração das raízes

(FUENTES *et al.*, 2006). Não é previsto encontrar compactação do solo por pisoteio animal abaixo de 0,10 m de profundidade, em áreas manejadas em sistema plantio direto (CONTE *et al.*, 2011). Valores de resistência à penetração do solo entre 2,0 e 2,5 MPa têm sido indicados como os limites críticos de resistência do solo à penetração para a maioria dos vegetais (SILVEIRA *et al.*, 2010). No entanto, deve-se considerar que a resistência do solo à penetração possui relação potencial com a umidade (BUSSCHER *et al.*, 1997).

Na avaliação da qualidade estrutural de um solo, a porosidade é um dos atributos físicos mais importantes a ser considerado. A compactação, ao reduzir o volume de macroporos, diminui a aeração do solo, podendo afetar o desenvolvimento e a produtividade das culturas. A porosidade é reduzida nos horizontes coesos e compactados e tem sido correlacionada com a granulometria e a densidade do solo (SANTANA *et al.*, 2006).

Ainda de acordo com Mercante *et al.* (2003) e Secco *et al.* (2005), a porosidade total tem apresentado grande relação com a compactação e a resistência à penetração do solo. Para Streck *et al.* (2004), a porosidade do solo pode variar tanto em relação aos fatores intrínsecos do solo como, a matéria orgânica, mineralogia, textura, assim como ao manejo realizado, o qual pode interferir na quantidade e distribuição de poros. Embora ainda não exista uma separação que seja bem visível em relação ao espaço poroso do solo, Marques (2000) relata que vários conceitos têm surgido no sentido de classificar os poros quanto ao tamanho, considerando a geometria e a configuração do espaço poroso, sendo classificados em micro e macroporos.

Sistema Plantio Direto

O Sistema Plantio Direto (SPD) é o processo de semeadura em solo não preparado, ou seja, não revolvido, no qual a semente é colocada em sulcos ou covas com largura e profundidades suficientes para a cobertura adequada e contato com o solo (CRUZ *et al.*, 2001).

As premissas do SPD são: o mínimo revolvimento do solo, presença de palhada na superfície do solo e rotação de culturas, constituindo, assim, uma boa alternativa de manejo, na busca por aumento de produtividade (OLIVEIRA *et al.*,

2013). Em uma mesma lavoura, é possível encontrar subáreas com diferentes níveis de qualidade e, portanto, com diferentes potenciais produtivos, embora as práticas de manejo adotadas tenham sido aplicadas uniformemente (AMADO *et al.*, 2005).

Entre as tecnologias utilizadas na cultura do milho, ressalta-se o sistema plantio direto utilizado com o objetivo principal de reduzir custos de produção, atrelado à necessidade de melhoria na qualidade dos solos, visando uma produção sustentável (ALBUQUERQUE *et al.*, 2013).

A cultura do milho é tradicionalmente implantada no Brasil com espaçamentos entre linhas de 0,80 e 0,90 m em sistema convencional, o que possibilita adequado funcionamento dos equipamentos tradicionais à semeadura, tratos culturais e colheita (MATTOSSO *et al.*, 2006).

A tendência atual é a redução do espaçamento entre linhas como forma de modificar o comportamento da planta, interferindo na eficiência de utilização dos recursos do meio (DEMETRIO *et al.*, 2008).

O sucesso deste sistema está no fato de que a palhada que é deixada por culturas de cobertura sobre a superfície do solo junto aos resíduos delas criam um ambiente favorável ao crescimento vegetal e contribui para a estabilização da produção e para a recuperação e manutenção da qualidade do solo (ALVARENGA *et al.*, 2001).

Nesse método, o solo é rompido apenas para que as sementes ou mudas/partes vegetativas das plantas sejam colocadas nele, ficando os resíduos culturais remanescentes de culturas anteriores quase todos na superfície (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

As vantagens do plantio direto sobre o preparo convencional do solo são inúmeras, porém são também observadas as desvantagens, principalmente sua dependência no uso de herbicidas, já que o controle eficiente das invasoras é absolutamente necessário no plantio direto.

No sistema convencional, a mobilização com arações e gradagens aumenta a porosidade, elimina plantas invasoras e incorpora matéria orgânica e nutriente na camada mobilizada, mas degrada as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (COSTA *et al.*, 2003; SILVA *et al.*, 2006).

A utilização desta prática proporciona redução no tempo despendido em operações agrícolas com a redução de tráfego de maquinário, alta atividade biológica do solo e teores de matéria orgânica diminuem a erosão laminar, bem como o

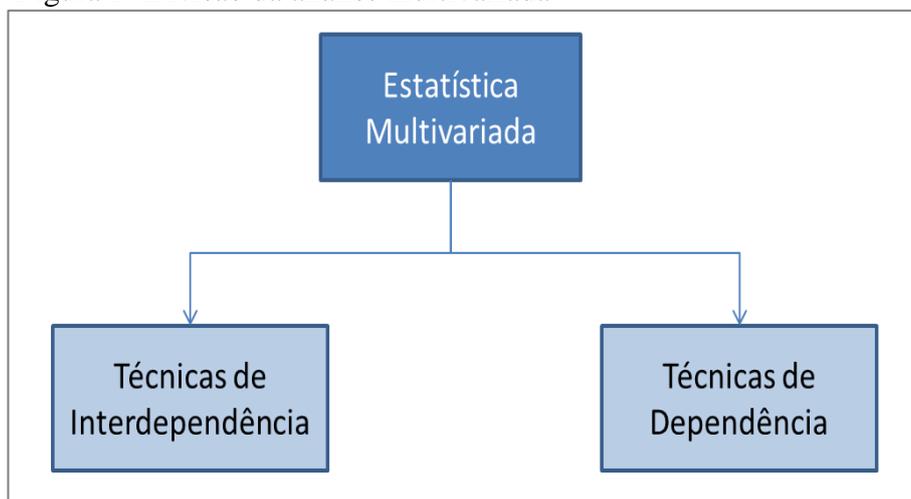
carreamento de fertilizantes e agrotóxicos para os mananciais de água, reduz a densidade populacional de plantas daninhas e possibilita maior conservação da umidade do solo, sendo, portanto, considerado um sistema de produção sustentável (NASCENTE *et al.*, 2011; CRUSCIOL *et al.*, 2012; NASCENTE; CRUSCIOL, 2012).

2.4 Análise estatística multivariada na cultura do milho

Analisar dados em um mundo onde as informações coletadas sobre determinado assunto levam segundos para serem processadas é ótimo, isso acontece devido ao avanço computacional, porém nem todas as informações geram conhecimento. Nesse sentido, a estatística é uma área que nos ajuda a captar as informações ocultas contida nos dados através de suas técnicas.

Um dos ramos que vem avançando é análise multivariada de dados, com suas técnicas que permitem analisar mais de uma informação sobre um objeto ou indivíduo (HAIR *et al.*, 2009). Este ramo tem uma divisão no conjunto de técnicas (Figura 1).

Figura 1- Divisão da análise multivariada



Fonte: elaborada pelo autor.

Técnica de dependência pode ser definida como um conjunto de variáveis dependentes que serão explicadas ou previstas por outro conjunto de variáveis independentes, tem como exemplo uma regressão múltipla. Já a técnica de interdependência é aquela onde não temos esta divisão entre as variáveis, esta técnica envolve a análise simultânea de todas as variáveis no conjunto, a análise fatorial e

análise de cluster são exemplos disso. Deste modo, é importante salientar que neste universo optou-se pela análise de regressão múltipla.

Na análise multivariada, supõe-se a normalidade multivariada das variáveis. Tal suposição é de difícil validação, entretanto, sabe-se que se uma variável é normal multivariada, ela também é normal univariada, porém não há recíproca. De acordo com Hair *et al.* (2009), na maioria dos casos, a normalidade univariada de todas as variáveis é suficiente para a análise.

Segundo Fávoro (2009), a regressão linear por mínimos quadrados ordinários (simples ou multivariada) é uma das técnicas mais utilizadas no mundo acadêmico por pesquisadores de diversas áreas. Como aplicação desta técnica, podemos citar problemas como: estimar o rendimento de um aluno em função do número de horas estudadas, estimar o salário de uma pessoa em função de seu grau de instrução, estimar gastos de uma família em função de sua renda conjunta e do número de membros da família ou estimar a produção de uma safra em função do sistema de plantio, tipo de semente e condições ambientais.

Estes são alguns exemplos básicos de onde se pode aplicar esta técnica, mas é importante apontar que a modelagem requer, em qualquer nível de complexidade, alguns pressupostos (CORRAR *et al.*, 2012): 1-Normalidade dos resíduos, 2-Homoscedasticidade dos resíduos, 3-Linearidade dos coeficientes, 4-Ausência de autocorrelação serial entre os resíduos e 5-Multicolinearidade entre as variáveis independentes.

A análise estatística multivariada surgiu como importante ferramenta de obtenção de uma maior quantidade de informação que dificilmente seria gerada com o uso de métodos univariados (BEEBE *et al.*, 1998). Segundo Costa (2006), é um método estatístico que pode ser aplicado a qualquer delineamento experimental e, quando aliado a outras técnicas de análise multivariada, tem sido de grande utilidade em pesquisas científicas.

Considerando a existência de correlação, positiva ou negativa, entre variáveis poderá haver maior aproveitamento da informação conjunta contida nelas. Na estatística multivariada, o fenômeno depende de muitas variáveis, com isso não basta conhecer as variáveis isoladas, mas conhecê-las na sua totalidade, pois uma depende da outra e as informações são fornecidas pelo conjunto e não individualmente (CRUZ, 1987; GROBE, 2005).

Pesquisas têm sido realizadas na cultura de milho a fim de identificar a direção e a intensidade das relações lineares entre variáveis (TOEBE; CARGNELUTTI FILHO, 2013b). Segundo Fidalski *et al.* (2007), os estudos que quantificam a qualidade do solo, de modo geral, apresentam inúmeras variáveis, estas são descritas por meio de análises estatísticas univariadas, e possivelmente comprometem as interpretações e as conclusões destes estudos uma vez que a existência ou não da dependência entre as variáveis analisadas não é explorada.

O uso de técnicas de estatística multivariada avalia simultaneamente as variáveis, identificando aquelas com real poder de discriminação, o que permite a compreensão das relações entre as variáveis e as classes de qualidade a qual se agrupam (GERHARDT *et al.*, 2001). Por tratar-se de uma análise unificadora que permite integrar as múltiplas informações das características extraídas das unidades experimentais, a estatística multivariada proporciona maior oportunidade de escolha de parentais divergentes em programas de melhoramento (DAS; GUPTA, 1984; JOHNSON; WICKERN, 1988).

Estudos de divergência genética são importantes para o conhecimento da variabilidade genética existente na coleção do melhorista, possibilitando o monitoramento, auxiliando na identificação de possíveis duplicatas e fornecendo parâmetros para escolha de progenitores, que ao serem cruzados, possibilitem maior efeito heterótico, aumentando as chances de obtenção de genótipos superiores em gerações segregantes (CRUZ; CARNEIRO, 2003; CRUZ; REGAZZI, 2003).

A utilização de técnicas multivariadas para estimar a divergência genética tem se tornado comum entre os melhoristas de plantas, e em diferentes espécies, como é o caso do melhoramento do feijão (ELIAS *et al.*, 2007; BONETT *et al.*, 2006), da aveia (KUREK *et al.*, 2002; LORENCETTI *et al.*, 2006), do pimentão (OLIVEIRA *et al.*, 1998), da mandioca de mesa (ZUIN *et al.*, 2009), bem como do milho (FUZATTO *et al.*, 2002; MORO *et al.*, 2007; CARDOSO *et al.*, 2009; SIMON *et al.*; 2012).

Toebe e Cargnelutti Filho (2013a) realizaram 14 ensaios sobre milho com distribuição normal multivariada e elevado grau de multicolinearidade entre as variáveis explicativas, constando que a realização da análise de trilha tradicional com eliminação de variáveis altamente correlacionadas para a estimação precisa dos efeitos diretos das variáveis explicativas sobre a produtividade de grãos.

2.5 Estimativa da Produtividade

Modelos matemáticos fazem parte da nossa vida diária, pois eles ajudam a tomar decisões com base em suas previsões, assim podemos planejar e otimizar nossas ações. Estimar a produtividade antes da colheita faz parte de um planejamento na agricultura. Boa parte das técnicas de previsão numérica baseia-se na agrometeorologia. Esta, por sua vez, fundamenta-se na relação estatística entre as variáveis dependentes que deverão ser estimadas, e as variáveis agrometeorológicas independentes (HOOGENBOOM *et al.*, 2010).

As redes neurais artificiais (RNAs) vêm sendo utilizadas para gerar modelos de previsão de safra. As RNAs são técnicas computacionais que apresentam um modelo inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes que adquirem conhecimento através da experiência (BRAGA *et al.*, 2000).

Soares *et al.* (2015) empregaram RNAs e imagens de satélites na predição da produtividade da cultura do milho, no município de Jaguari, região Central do Estado do Rio Grande do Sul, com base em variáveis morfológicas da cultura. Já Leal *et al.* (2015) também utilizam redes neurais artificiais (RNAs) como alternativas para prever a produtividade de grãos de milho a partir de atributos do solo.

Segundo Costa (2001) os modelos mecanísticos, por sua vez, são aqueles baseados na descrição do processo que ocorre no sistema real considerado, ou seja, existe a tentativa de se considerar os princípios físicos e biológicos que ocorrem no sistema.

Parizi *et al.* (2016) calibra e testa um modelo de simulação mecanísticos para obtenção da produção de grãos e matéria seca da cultura do milho, comparando os resultados obtidos na simulação com os resultados obtidos em um experimento de campo conduzido sob diferentes níveis de irrigação.

Existem modelos simples como o modelo de Reetz (1987), o método da Emater - MG (2000) utilizado por Rodrigues *et al.* (2005) e o modelo usando por Bernardon (2005). Além dos modelos já citados, ainda encontramos os usados por Holzman *et al.* (2014) e Li *et al.* (2014) porém, pouco acessível ao pequeno e médio produtor, devido à falta de disponibilidade de informações, apesar de prever com bastante antecedência. Estes modelos necessitam de calibração, como faz Souza *et al.* (2013) para o método de Reetz. Rodrigues *et al.* (2005), aconselham que o método de Reetz precisa ser adaptado a grupos de híbridos com características semelhantes. O

ajuste nos modelos se faz necessários devido à influência de fatores ambientais e de manejo nas características genéticas.

Fatores ecológicos influenciam para que haja uma variabilidade genética e fenotípica das plantas. No México, realizaram-se estudos neste sentido como feijão (*Phaseolus coccinus* L.). Os climas mais representados eram temperados húmidos e semiáridos, associados principalmente à floresta mista de carvalhos e pinheiros no solo cambiso (VARGAS *et al.*, 2012). Este tipo de estudo é muito comum em ciências biológicas. Em Menezes *et al.* (2015), estudos com cactos no semiárido do Nordeste brasileiro testaram a influência de fatores genéticos e ambientais sobre padrões de espinhos.

O modelo de Reetz (1987), o método da Emater - MG (2000) utilizado por Rodrigues *et al.* (2005) e o modelo usando por Bernardon (2005), todos eles, em seus arquivos de origem, não foi encontrada neles uma explicação matemática ou estatística para suas construções, neste sentido é essencial uma argumentação Estatística-Matemática.

REFERÊNCIAS

ABIMILHO - Associação Brasileira das Industrias do Milho. O Cereal que enriquece a alimentação humana. Disponível em: <<http://www.abimilho.com.br/milho/cereal>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

ALBUQUERQUE, A. W.; SANTOS, J. R.; MOURA FILHO, G.; REIS, L. S. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.7, p. 721-726, 2013.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; VON PINHO, R. G.; SILVA, R. Produtividade de híbridos de milho verde experimentais e comerciais. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 2, p. 69-76, 2008.

ALDERFASI, A. A.; SELIM, M. M.; ALHAMMAD, B. A. Evaluation of plant densities and various irrigation regimes of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) under low water supply. **Journal of Water Resource and Protection**, v.8, n.1, p.1-8, 2016.

ALMEIDA, M. L.; MEROTTO JUNIOR, A.; SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A. F. Incremento na densidade de plantas: uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. **Ciência Rural**, v.30, n.1, p. 23-29, 2000.

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, p. 25-36, 2001.

ALVAREZ, C. G. D.; VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D. Avaliação de características agronômicas e de produção de forragem e grãos de milho em diferentes densidades de semeadura e espaçamentos entre linhas. **Revista Ciência Agrotécnica**, v.30, n.3, p. 402-408, 2006.

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 n.4, p. 831-843, 2009.

AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. **Física do Solo: Conceitos e Aplicações**. 1. ed. Fortaleza: UFC, 2008. 290p.

ARCOVERDE, S. N. S. **Qualidade de solos sob diferentes usos agrícolas na região do entorno do lago de Sobradinho**. 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Vale do São Francisco, 71f.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; SANGOI, L. 2001. Arranjo de plantas em milho: análise do estado da arte. **Ciência Rural**, v.31, n.1, p.1075-1084, 2001.

ASSIS, J. P.; DOURADO NETO, D.; NASS, L. L.; MANFRON, P. A.; BONNECARRÈRE, R. A. G.; MARTIN, T. N. Simulação estocástica de atributos do

clima e da produtividade potencial de milho utilizando-se distribuição triangular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.3, p.539-543, 2006.

BEEBE, K. R.; PELL, R. J.; SEASHOLT, M. B. **Chemometrics: A practical guide**. New York, John Wiley & Sons, 1998. 348p.

BERNARDON, T. **Componentes da produtividade de grãos de milho (*Zea mays L*) visando obter parâmetros para a agricultura de precisão**. 2005. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 95p.

BONETTI, L. P.; VIDIGAL, M. C. G.; SCHULTER, A. R.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONELA, A.; LACANALLO, G. F. Divergência genética em germoplasma de feijoeiro comum coletado no estado do Paraná, Brasil. **Semina**, v.27, n.4, p.547-560, 2006.

BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. P. L. F.; LUDEMIR, T. B. **Redes neurais artificiais: teoria e aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 250 p.

BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; CAMP, C.R.; SOJKA, R. E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. **Soil Tillage Research**, v.43, n.43, p. 205-217, 1997.

CALONEGO, J. C.; POLETO, L. C.; DOMINGUES, F. N.; TIRITAN, C. S. Produtividade e crescimento de milho em diferentes arranjos de plantas. **Agrarian**, v.4, n.12, p.84-90, 2011.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, São Paulo, p.132, 1997.

CARGNELUTTI FILHO, A.; RIBEIRO, D. N.; BURIN, C. Consistência do padrão de agrupamento de cultivares de feijão conforme medidas de dissimilaridade e métodos de agrupamento, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.3, p.236-243, 2010.

CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M.; BURIN, C.; SILVEIRA, T. R. da; CASAROTTO, G. Tamanho de amostra para estimação do coeficiente de correlação linear de Pearson entre caracteres de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.12, p.1363-1371, 2010.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R. da.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.1, p.37-43, 2012.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2015/2016. Décimo segundo levantamento. Disponível em:<<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 21 nov. 2016.

CONTE, O.; FLORES, J. P. C.; CASSOL, L. C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. DE F.; LEVIEN, R.; WESP, C. DE L. Evolução de atributos físicos de solo em

sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1301-1309, 2011.

CORRAR, L. J.; EDILSON, P.; DIAS FILHO, J. M. **Análise Multivariada: Para concurso de Administração, ciências contábeis e economia**. FIPECARI- Fundação Instituição de Pesquisas Contábeis, Atuariais e Financeiras; 1. ed. 4.reimpr. São Paulo: Atlas, 2012.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetados pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.3, p.527-535, 2003.

COSTA, L. C. Modelagem e simulação em agrometeorologia. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA**, 9., 2001, Santa Maria. Anais...Santa Maria: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p.75-82, 2001.

COSTA, M. N. da. **Análise dialéctica das capacidades geral e específica de combinação utilizando técnicas uni e multivariadas de divergência genética em mamoneira (*Ricinus communis L.*)**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Paraíba, 132f.

CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, E. Consórcio de milho com braquiária: produção de forragem e palhada para o plantio direto. **Revista Plantio Direto**, n.100, 2007.

CRUSCIOL, C. A. C.; MATEUS, G. P.; NASCENTE, A. S.; MARTINS, P. O.; BORGHI, E.; PARIZ, M. Na innovative crop-forage intercrops system: Early cycle soy bean cultivars and palisa degrass. **Agronomy Journal**, v.104, n.4, p.1085-1095, 2012.

CRUZ, C. D. **Algumas técnicas de análise multivariada no melhoramento de plantas**. 1987. 75 f. (Monografia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

CRUZ, C. D. **Aplicações de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. 1990. 188f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. Análise dialéctica. **In.: Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. Ed. UFV. Viçosa. 2. ed. 1997. p.131-285.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO P. C. S. 2003. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Editora UFV, Viçosa, 585 p.

DAS, P. K.; GUPTA, T. D. Multivariate analysis in blackgrain (*Vigna Mungo L.*). **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, v.44, n.7, p.243-247, 1984.

DEMÉTRIO, C. S.; FORNASIERI FILHO, D.; CAZETTA, J. O.; CAZETTA, D. A. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, n.12, p.1691-1697, 2008.

DEPARIS, G. A.; LANA, M. DO C.; FRANDOLOSO, J. F. Espaçamento e adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura do milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.29, n.4, p.517-525, 2007.

DUARTE, J. O.; CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C.; MATTO S, M. J. **Sistema de produção de milho e sorgo**. Sete Lagoas, 2006. Disponível em: <<https://www.cnpms.com.br>>. Acesso em: 16 jul. 2015.

FANCELLI, L. A.; DOURADO-NETO, D. **Produção de Milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

FAO. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (2017). Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2017-09/fao-preve-producao-recorde-de-cereais-no-mundo-em-2017>>. Acesso em: 13 Ago. 2017.

FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D. Características agronômicas e produtividade de cultivares de milho em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais. **Científica**, v. 40, n.1, p.21-27, 2012.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SCAPIM, C. A. Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.1 p.9-19, 2007.

FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L. C.; CARVALHO, P. C. F.; LEITE, J. G. D. B.; FRAGA, T. I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 31, n.4, p. 771-780, 2007.

FAO. Food and Agriculture Organization. Production: crops. 2012. Disponível em: <www.faostat.fao.org>. Acesso em: 29 mar. 2016.

FUENTES, R. L.; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos diferentes sistemas de preparo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, n.2, p. 205-220, 2006.

GALVAO, J. C. C.; MIRANDA, G. V.; TROGELLO, E.; FRITSCHÉ-NETO, R. Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. **Revista Ceres**, v.61, n. suplementar, p.819-828, 2014.

GERHARDT, E. T.; FINGER, C. A. G.; LONGHI, S. J.; SCHUMACHER, M. V. Contribuição da análise multivariada na classificação de sítios de povoamento de Araucária angustifolia, baseada nos fatores físicos e morfológicos do solo e no conteúdo de nutrientes da Serapilheira. **Ciência Florestal**, v.11, n.2, p. 41-57, 2001.

GILO, E.G.; SILVA JUNIOR, C. A.; TORRES, F. E.; NASCIMENTO, E. S. E LOURENÇÃO, A. S. Comportamento de híbridos de milho no Cerrado Sul-Mato-Grossense, sob diferentes espaçamentos entre linhas. **Bioscience Journal**, v.27, n. 6, p. 908-914, 2011.

- GONÇALVES JÚNIOR, A. C.; TRAUTMANN, R. R.; MARENGONI, N. G.; RIBEIRO, O. L.; SANTOS, A. L. dos. Produtividade do milho em resposta a adubação com NPK e Zn em Argissolo Vermelho amarelo Eutrófico e Latossolo Vermelho Eutrófico. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.4, p.1231-1236, 2007.
- HAIR JUNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009, 688p.
- HOLZMAN, M.E.; RIVAS, R.; PICCOLO, M. C. Estimating soil moisture and the relationship with crop yield using surface temperature and vegetation index. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 28, n.1, p. 181-192, 2014.
- HOOGENBOOM, G.; JONES, J. W.; WILKENS, P. W.; PORTER, C. H.; BOOTE, K. J.; HUNT, L.A.; SINGH, U.; LIZASO, J. L.; WHITE, J. W.; URYASEV, O.; ROYCE, F. S.; OGOSHI, R.; GIJSMAN, A. J.; TSUJI, G. Y. **Decision support system for agrotechnology transfer (DSSAT)**. Version 4.5. Honolulu: University of Hawaii, 2010. Cd-rom.
- HU, W.; SHAO, M. A.; WANG, Q. J.; REICHARDT, K. Soil water content temporal spatial variability of the surface layer of a Loess Plateau hillside in China. **Scientia Agrícola**, v.65, n.3, p.277-289, 2008.
- JOHNSON, R. A. WICKERN. D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 2. ed. New York. Englewood Cliffs. Prentice Hall. 1988. 607p.
- KAPPES, C.; ANDRADE, A. C. J.; ARF, O.; OLIVEIRA, A. C.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P. Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas. **Bragantia**, v.70, n.2, p.334-343, 2011.
- KAPPES, C.; SILVA, R. G.; FERREIRA, V. E. M. Aplicação foliar de Azospirillum brasilense e doses de nitrogênio em cobertura no milho safrinha. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n.3, p.366-373, 2017.
- KUREK, A. J.; CARVALHO, F. I. F.; CRUZ, P. J.; LORENCETTI, C.; CARGNIN, A.; SIMIONI, D. Variabilidade em genótipos fixos de aveia branca estimada através de caracteres morfológicos. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.8, n.1, p.13-17, 2002.
- LEAL, A. J. F.; MIGUEL, E. P.; BAIO, F. H. R.; NEVES, D. D. C.; LEAL, U. A. S. Artificial neural networks for corn yield prediction and definition of site-specific crop management through soil properties. **Bragantia**, v.74, n.4, p.436-444, 2015.
- LI, Y.; ZHOU, Q.; ZHOU, J.; ZHANG, G.; CHEN, C.; WANG, J. Assimilating remote sensing information into a coupled hydrology-crop growth model to estimate regional maize yield in arid regions. **Ecological Modelling**, v. 291, n.10, p.15-27, 2014.
- LORENCETTI, C.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; VALÉRIO, I. P.; BENIN, G.; ZIMMER, P. D.; VIEIRA, E. A. Distância genética e sua associação com

heterose e desempenho de híbridos de aveia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.4, p.591-598, 2006.

MATTOSO, M. J.; GARCIA, L. C.; DUARTE, J. O.; CRUZ, J. C. Aspectos de produção e mercado do milho. **Informe Agropecuário**, v.27, n.1, p.95-104, 2006.

MELO, F. de B.; CORA, J. E.; CARDOSO, M. J. Fertilização nitrogenada, densidade de plantas e rendimento de milho cultivado no sistema plantio direto. **Revista Ciência Agrônômica**, v.42, n.1, p.27-31, 2011.

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.6, p.1149-1159, 2003.

MORO, J. R.; SILVEIRA, F. T.; CARGNELUTTI FILHO, A. Dissimilaridade genética em sessenta e quatro linhagens de milho avaliadas para resistência ao complexo enfezamento. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v.7, n.1, p.153-160, 2007.

NASCENTE, A. S.; KLUTHCOUSKI, J.; RABELO, R. R.; OLIVEIRA, P. de.; COBUCCI, T.; CRUSCIOL, C. A. C. Desenvolvimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas em função do manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.2, p. 186-192, 2011.

NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C. Cover crops and herbicide timing management on soybean yield under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.2, p.187-192, 2012.

OHLAND, R. A. A.; SOUZA, L. C. F.; MACHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.3, p.538-544, 2005.

OLIVEIRA, J. G. R.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. Erosão no plantio direto: perda de solo, água e nutrientes. **Boletim geográfico**, v.30, n.3, p. 91-98, 2012.

PACHECO, C. A. P.; GAMA, E. P.; GUIMARÃES, P. E. O.; SANTOS, M. X.; FERREIRA, A. S. Estimativas de parâmetros genéticos nas populações CMS-42 e CMS-43 de milho pipoca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.12, p.1995-2001, 1998.

PAIXÃO, L. S.; CAVALCANTE, M.; FERREIRA, P. V.; MADALENA, J. A. S.; PEREIRA, R. G. Divergência genética e avaliação de populações de milho em diferentes ambientes no Estado de Alagoas. **Revista Caatinga**, v.21, n.4, p.191-195, 2008.

PARIZI, A. R. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; GOMES, A. C. S.; SOARES, F. C.; VIVAN, G. A. Calibração e teste de um modelo mecanístico para a produção da cultura do milho em diferentes níveis de irrigação. **Irriga**, v.1, n.1, p. 1-18, 2016.

- PEIXOTO, C. M. **A evolução da produtividade do milho no Brasil**, 2011. Disponível em: <http://agrolink.com.br/noticias/a-evolucao-da-productividade-do-milho-nobrasil_130498.html>. Acesso em: 25 jun. 2016.
- PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D.; COICEV, L.; BORDIN, L.; FARINELLI, R. Comportamento de cultivares de milho semeadas em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.2, p.52-60, 2003.
- PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D.; COICEV, L.; BORDIN, L.; FARINELLI, R. Comportamento de cultivares de milho semeados em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.2, p.52-60, 2003.
- PIANA, A. T. Densidade de plantas de milho híbrido em semeadura precoce no Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.38, n.9, p. 2608-2612, 2008.
- REETZ, H. Here'show to estimate yields for corn and soybeans before harvest. **Better Crops With Plant Food**, v.7, n.1, p.18-19, 1987.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, v.27, n.1, p.29-48, 2003.
- RESENDE, S. G. Influencia do espaçamento entre linhas e da densidade de plantio no desempenho de cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.1, p.34-42, 2003.
- RODRIGUES, V. DO N.; PINHO, R. G. V.; PAGLIS, C. M.; BUENO FILHO, J. S. DE S.; BRITO, A. H. DE. Comparação entre métodos para estimar a produtividade de grãos de milho. **Revista Ciência Agrotecnologia**, v.29, n.1, p.171-186, 2005.
- ROSSETTI, K. de V.; ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F.; MATIAS, S. S. R.; NÓBREGA, J. C. A. Atributos físicos do solo em diferentes condições de cobertura vegetal em área de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.3, p.427-433, 2012.
- SÁ, M. A. C.; JUNIOR, J. D. G. S. **Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. 26p.
- SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos**. Lages: Graphel, 2010.
- SANTANA, M. B.; SILVA, S. L.; SOUZA, D. L.; FONTES, L. E. F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.30, n.1, p.1-12, 2006.
- SECCO, D.; ROS, C. O. D.; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividades de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes

sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.3, p. 407-414, 2005.

SHIOGA, P. S.; OLIVEIRA, E. L.; GERAGE, A. C. Densidade de plantas e adubação nitrogenada em milho cultivado na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.3, n.3, p.381-390, 2004.

SILVA, D. A., VITORINO, A. C. T., SOUZA, L. C. F., GONÇALVES, M. C. E ROSCOE, R. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na cultura do milho, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.1, p.75-88, 2006.

SILVA, J. N.; LINHARES, P. C. A.; FIGUEREDO, J. P.; IRINEU, T. H. S.; SILVA, J. N.; ANDRADE, R. Crescimento do milho bandeirante sob lâminas de irrigação e *mulching*. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.11, n.4, p. 87-96, 2015.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no Recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.3, p. 659-667, 2010.

SIMON, G. A.; KAMADA, T.; MOITEIRO, M. Divergência genética em milho de primeira e segunda safra. **Semina**, v.33, n.2, p.449-458, 2012.

SOARES, F. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; RUSSI, J. L. Corn crop production prediction using artificial neural network. **Ciência Rural**, v.45, n.11, p.1987-1993, 2015.

SOUZA J. L. M. de.; GERSTEMBERGER, E.; ARAUJO, M. A. Calibração de modelos agrometeorológicos para estimar a produtividade da cultura do trigo, considerando sistemas de manejo do solo, em Ponta Grossa-PR. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.4, p.409 - 418, 2013.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R., Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, n.3, p.755-760, 2004.

TOEBE, M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Multicollinearity in path analysis of maize (*Zea mays L.*). **Journal of Cereal Science**, v.57, n.1, p.453-462, 2013a.

TOEBE, M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Não normalidade multivariada e multicolinearidade na análise de trilha em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.5, p.466-477, 2013b.

TOURINO, M. C. C.; REZENDE, P. M. DE.; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agronômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.8, p.1071-1077, 2002.

USDA - United States Department Agriculture. Disponível em:
<<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>>. Acesso em: 22 de maio de 2017.

VIEIRA M. A. 2007. **Cultivares e população de plantas na produção de milho-verde**. Curitiba: UFPR. 78f. (Tese mestrado).

VON PINHO, R. G.; GROSS, M. R.; STEOLA, A. G.; MENDES, M. C. Adubação nitrogenada, densidade e espaçamento de híbridos de milho em sistema plantio direto na Região Sudeste do Tocantins. **Bragantia**, v.67, n.3, p.733-739, 2008.

WU, G.; JOHNSON, S.; BORNMAN, J. F.; BENNETT, S. J.; FANG, Z. Changes in whole grain polyphenols and antioxidant activity of six sorghum genotypes under different irrigation treatments. **Food Chemistry**, v.214, n.1, p.199-207, 2017.

3 DESEMPENHO AGRONÔMICO DA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DA POPULAÇÃO ENTRE PLANTAS E ESPAÇAMENTOS EM PLANTIO DIRETO

RESUMO

O milho é uma das culturas mais importantes para a humanidade, devido a seu alto potencial produtivo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho agronômico do milho em função da população de plantas e dos espaçamentos entre linhas em um sistema de plantio direto. O experimento foi realizado em área experimental pertencente à Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, com delineamento em blocos casualizados, esquema fatorial 2 x 2, com 20 repetições, sendo os tratamentos constituídos por duas populações (P1 - 45.000 plantas ha⁻¹; P2 - 65.000 plantas ha⁻¹) e dois espaçamentos (E1 - 0,45 m; E2 - 0,90 m). Avaliou-se a produção por hectare, número de espigas por hectare, plantas por hectare, altura da planta, altura de inserção da 1ª espiga, massa seca total, massa de 100 grãos, número de grãos por fileiras, número de fileiras, umidade dos grãos, emergência e diâmetro do colmo. Neste estudo, observaram-se diferenças significativas entre a população e o espaçamento para a produção por hectares, espiga por hectares, plantas por hectares e emergência. Em especial, a população de 65.000 plantas ha⁻¹ no espaçamento de 0,90 m proporcionou incremento na produção por hectare, espiga por hectare e emergência, quando comparadas à população de 45.000 plantas ha⁻¹ e espaçamentos entre linhas de 0,45 m.

Palavras-chave: Arranjo de plantas. Produtividade. Manejo.

ABSTRACT

Corn is one of the most important crops for mankind due to its high production potential. The objective of this work was to evaluate the agronomic performance of maize as a function of plant population and spacing between rows in no tillage. The experiment was carried out in an experimental area belonging to the Federal University of Ceará, Fortaleza, Brazil, with a randomized block design, in a 2 x 2 factorial scheme, with 20 replicates. The treatments were composed of two

populations (P1 - 45,000 plants ha⁻¹; P2 - 65,000 plants ha⁻¹) and two spacing (E1 - 0.45m; E2 - 0.90m). Evaluate production per hectare, plants per hectare, plant height, first ear insertion height, total dry mass, mass of 100 grains, number of grains per row, number of rows, grain, emergency and stem diameter. Were observed significant differences between the population and the spacing for the production per hectare, spike per hectare, plants per hectare and emergency. The population of 65,000 plants ha⁻¹ at spacing of 0.90 m provided an increase in yield per hectare, spike per hectare and emergence, when compared to the population of 45,000 ha⁻¹ plants and row spacing of 0.45 m.

Keywords: Plants population. Productive. Management.

Introdução

A cultura do milho está dispersa por todo Brasil, sendo explorada em diferentes condições ambientais e sistemas de cultivo. A cultura do milho é bastante sensível á variações de densidades de plantas que é usado com a finalidade de elevar a produtividade.

Diversos fatores influenciam a produtividade da cultura do milho, dentre eles temos a população de plantas e o espaçamento entre fileiras. A população de plantas é um dos principais fatores que influi na capacidade da lavoura em captar recursos do ambiente (água, luz e nutrientes), e o espaçamento entre fileiras, por sua vez, guarda forte relação com o arranjo espacial entre plantas.

O potencial de produtividade de grão de milho é determinado pela densidade de semeadura, população final de plantas, número de espigas por planta, comprimento de espigas, número de fileiras de grãos por espiga, número de grãos por fileira, massa média do grão e pela cultivar, variedades ou híbrido utilizado.

Alterações na densidade de plantas, por meio do espaçamento entre linhas e da distribuição de plantas na linha de cultivo, proporcionam diferentes arranjos de plantas. A densidade de plantas é uma das práticas culturais que mais afeta o rendimento de grãos de milho, tornando-se foco de estudos importantes.

O sistema de plantio direto é muito utilizado como forma de manter a estrutura do solo, a decomposição da palhada de cobertura, incorporando-se

gradualmente à matéria orgânica do solo, proporciona melhoria na estrutura e fertilidade do solo. A cultura do milho tem a vantagem de deixar uma grande quantidade de restos culturais que, uma vez bem manejados, pode contribuir para reduzir a erosão e melhorar o solo.

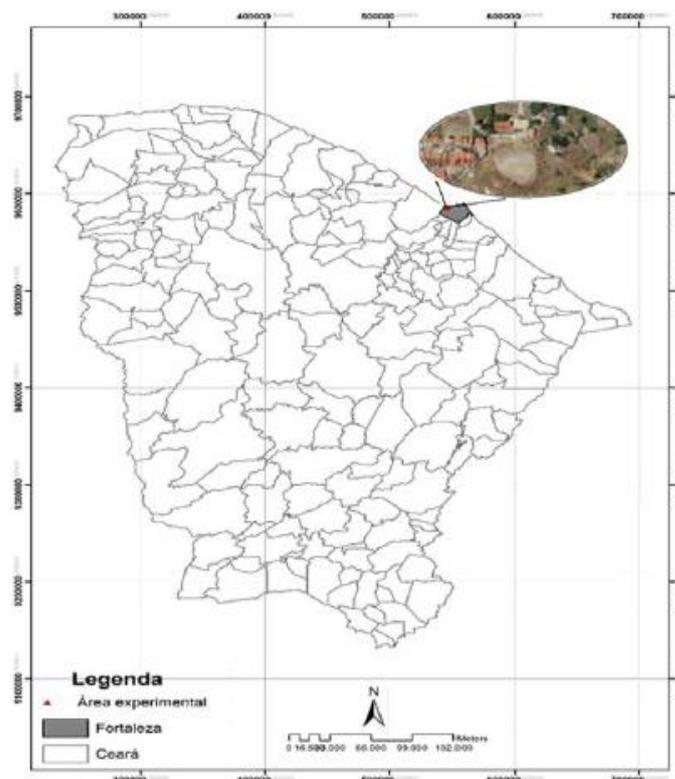
Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho agrônômico do milho em função da população de plantas e espaçamentos entre linhas em sistema de plantio direto.

Material e Métodos

Localização do experimento

O experimento foi realizado na área experimental pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, situada a 19 m de altitude, nas coordenadas geográficas de 03°43' latitude Sul e 38°32' longitude Oeste (Figura 2).

Figura 2 - Localização da área experimental



Fonte: elaborado pelo autor.

Solo

O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2013). Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras deformadas e indeformadas para caracterização física e química do solo (Tabela 1 e 2) nas camadas de 0-15 e 15-30 cm, seguindo metodologia da (EMBRAPA, 2011).

Tabela 1 - Características físicas iniciais do solo da área experimental

Prof. (cm)	Ma ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	Mi ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	PT ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	D (g m^{-3})	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	M.O (%)	Classe textural
0-15	0,09	0,15	0,24	1,44	10,60	6,50	82,90	1,64	Franco-arenoso
15-30	0,06	0,13	0,19	1,45	12,80	3,80	83,40	1,28	Franco-arenoso

Fonte: Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Legenda: Prof: profundidade, Ma: macroporosidade, Mi: microporosidade, PT: porosidade total, D: densidade do solo, M.O: matéria orgânica

Tabela 2 - Caracterização química do solo da área experimental

Prof. (cm)	pH (H_2O)	Ca ₂₊	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Al ³⁺	SB	T	V (%)	m (%)
						$\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$					
0-15	5,5	14	10	15	14	14,9	0,10	53	68	78	0,18
15-30	5,2	13	0,7	12	10	16,5	0,10	36	52	69	0,27

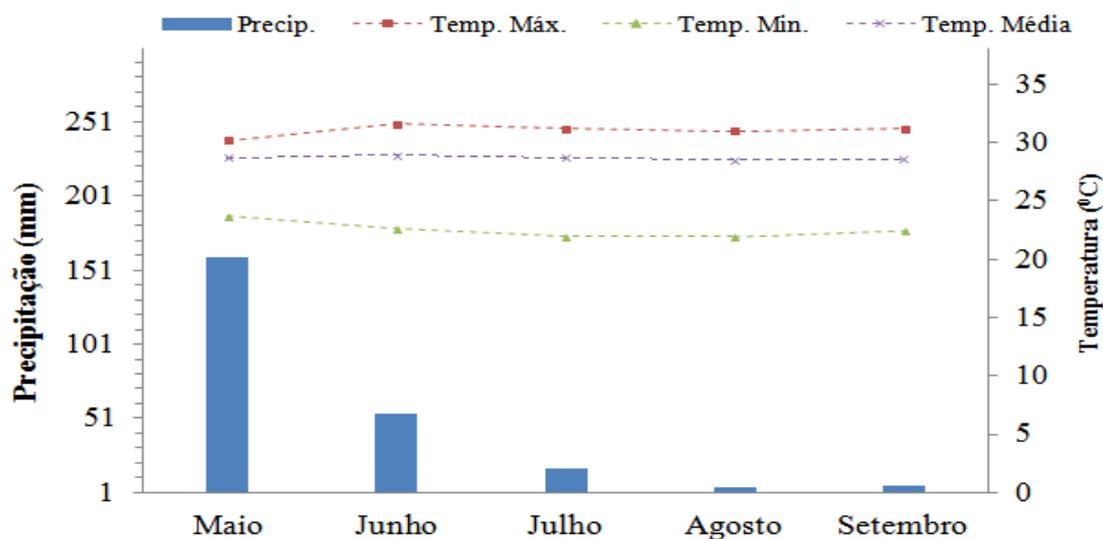
Fonte: Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Legenda: SB: soma de bases; T: capacidade de troca de cátions potencial; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio.

Clima

O clima da região apresenta-se como tropical chuvoso do tipo Aw', ou seja, muito quente, com predomínio de chuvas nas estações do verão e do outono, conforme classificação de Koppen. Os dados meteorológicos referentes ao período de condução do experimento realizado de maio a setembro de 2016 (Figura 3) foram obtidos da Estação Meteorológica da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici.

Figura 3 - Dados meteorológicos relativos ao período de condução do experimento



Fonte: Estação Meteorológica da Universidade Federal do Ceará (UFC)

Histórico da área

A área experimental está em processo inicial de implantação do sistema plantio direto. Em novembro de 2014, foram implantadas as forrageiras crotalárias, sorgo e capim mombaça com intuito de formar palhada para a semeadura de milho que aconteceu no mês de março de 2015.

Durante condução do milho, o solo recebeu irrigação suplementar por meio de sistema de aspersão convencional. Assim, calculou-se a ET_0 pelo método do tanque classe A, instalado sobre grama com 100m de bordadura, obtendo-se os coeficientes do tanque pelo método proposto por Doorenbos e Pruitt (1977).

No cálculo da ET_c , multiplicou a ET_0 com K_C dos diferentes estádios da cultura principal (milho), suprindo as necessidades hídricas da cultura na insuficiência pluviométrica do período, sendo aplicada lâmina de irrigação de acordo com a demanda hídrica nos diferentes estádios fenológicos da cultura, variando entre 0,2-1,6 nos diferentes estádios de desenvolvimento fenológico, suprindo as necessidades hídricas da cultura, segundo Guerra *et al.* (2004).

Na sequência, após manejo com herbicida, foi semeada a cultura do feijão, em agosto de 2015. Depois da colheita e dessecação do feijão nos anos agrícolas 2015/2016, foi implantado o consórcio de *Brachiaria brizantha* com milho, no ano decorrente foi realizado a implantação da cultura do milho para a realização deste trabalho.

Sementes, Fertilizantes e Defensivos Agrícolas

A semente de milho utilizada no experimento foi a cultivar *Al Avaré*, considerada de baixa tecnologia e que se adapta muito bem à região conforme o grau tecnológico do produtor, pureza de 98% e sobrevivência de 85%, visando uma população de 65.000 plantas ha⁻¹, com espaçamento entrelinhas de 0,90 m e densidade de semeadura de 6 sementes m⁻¹. Para a população de 45.000 plantas ha⁻¹, com espaçamento entrelinhas de 0,45 m e densidade de semeadura de 3 sementes m⁻¹.

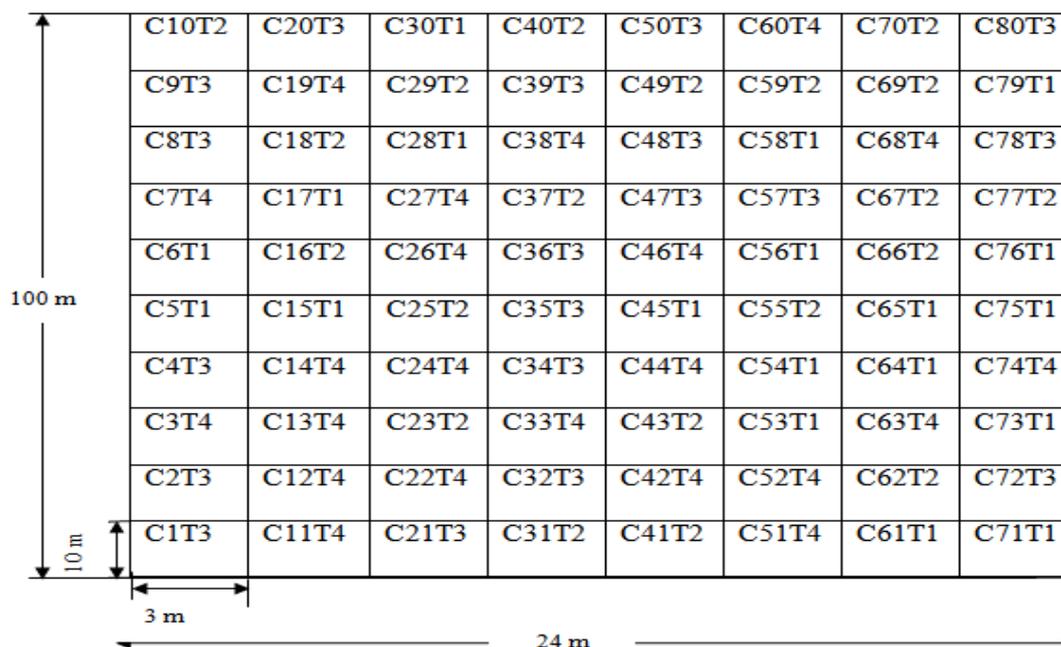
Durante condução da cultura do milho, foram realizadas adubações de base e de cobertura. Na adubação de base, utilizou-se 250 kg ha⁻¹ de fertilizante na formulação comercial de NPK 10-28-20. Já a adubação de cobertura foi realizada nos estádios V₂, V₄ e V₈ do milho, utilizando 300 kg ha⁻¹ de uréia e 120 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio.

Durante o ciclo da cultura, foram efetuadas quatro aplicações do produto Lufenurom (i.a) na dose de 18g ha⁻¹ do ingrediente ativo contra a presença da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) e lanat BR inseticida fosforado (princípio ativo: metomil) nos estádios V₄, V₈, V₁₂ e R₁.

Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em esquema fatorial 2 x 2, constituído de duas populações (P1 - 45.000 plantas ha⁻¹; P2 - 65.000 plantas ha⁻¹) e dois espaçamentos (E1 - 0,45 m; E2 - 0,90 m), em delineamento em blocos inteiramente casualizado com 20 repetições, totalizando 80 unidades experimentais de 3m x 10m (Figura 4), e área útil com 5 metros de comprimento por 0,90 m de largura, totalizado 4,05 m² de área útil por parcela.

Figura 4-Croqui da área experimental com os tratamentos utilizados



Legenda: C: célula, T: tratamento (T1: população 45.000 plantas/ha e espaçamento de 0,45 m, T2: população 45.000 plantas/ha e espaçamento de 0,90 m, T3: população 65.000 plantas/ha e espaçamento de 0,45 m, T4: população de 65.000 plantas/ha e espaçamento de 0,90 m).

Avaliações

As variáveis avaliadas foram: altura de planta (AP), altura de inserção da primeira espiga (AiE), diâmetro do colmo (DC), índice de velocidade de emergência (IVE), número de fileiras por espiga (NE), número de grãos por fileira (NGF), massa de 100 grãos (MCG), número de espigas por hectares (NEH), produção por hectares (PH) e matéria seca do milho (MS).

Para a determinação da altura da planta em cm (AP), foram selecionadas dez plantas da área útil. Com uma fita métrica, foram medidas a altura de planta e a distância entre o nível do solo e a inserção da folha bandeira (Figura 5A). A altura de inserção da primeira espiga em cm (AiE) foi obtida medindo-se da superfície do solo até a inserção da primeira espiga (Figura 5B).

O diâmetro do colmo (DC) foi mensurado por meio de um paquímetro digital (Figura 5C). Para obter o diâmetro do colmo, calculou-se a média das medições do maior e menor diâmetro no internódio situado acima do primeiro nó das raízes adventícias, obtendo-se, assim, o diâmetro médio do colmo em cm.

Figura 5- Altura da planta (A), altura da inserção da 1ª espiga (B) e diâmetro do colmo (C)



Fonte: elaborado pelo autor.

Para determinação do número de fileira por espiga (NFE), foi contado o número de fileiras de dez espigas de cada parcela (Figura 6A). Para determinação do número de grãos por fileiras (NGF), contou-se o número de grãos por fileira de dez espigas de cada parcela, obtendo-se, assim, a média de cada tratamento (Figura 6B).

Figura 6 - Contagem do número de fileira por espiga (A) e do número de grãos por fileira (B)



Fonte: elaborado pelo autor.

O índice de velocidade de emergência (IVE) foi calculado a partir de contagens diárias conforme metodologia proposta por Maguire (1962), posterior ao teste de emergência (Equação1).

$$IVE = [(E_1/N_1) + (E_2/N_2) + \dots + (E_n/N_n)] \quad (1)$$

Em que:

IVE = índice de velocidade de germinação, em número de dias após a semeadura (dias);

N_1 , N_2 e N_n = números de dias após a implantação do teste (dia);

E_1 , E_2 e E_m = números de plântulas computadas na primeira, segunda e última contagem (plântulas).

A massa de 100 grãos medida em g 100 grãos⁻¹(MCG) foi obtida de acordo com as Regras de Análises de Sementes (BRASIL, 2009). Para determinar a umidade dos grãos (UG) foi utilizado o medidor de umidade de grãos portátil marca Minipa®, doravante a massa de grãos produzida foi corrigida para 13% de umidade. Para determinação do número de espigas por hectares (NEH), foram contadas as espigas das linhas centrais de cada parcela com dez metros de cada. Os valores encontrados foram extrapolados para número de espigas ha⁻¹.

Para determinação da produção de matéria seca do milho em g (MS), primeiramente, foi realizado o corte das plantas de milho a 2 cm acima da superfície do solo dentro da área útil, posteriormente, foram pesadas todas as plantas, descontando-se o peso dos grãos após a trilha, obtendo-se o peso da massa verde da palha. Após secagem em estufa com circulação forçada de ar por 72h a 65°C, determinaram-se a porcentagem de água e o posterior cálculo da produção de massa seca de palha em kg ha⁻¹.

Para produção de grãos (PH) foram coletadas todas as espigas da área útil, e em seguida realizada a trilha. Depois da trilha, os grãos foram separados, pesados, para determinar a umidade, e os valores foram corrigidos a 13% de umidade com base nas Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009) pela Equação 2. Após transformar a massa dos grãos à base de 13%, os resultados foram extrapolados para kg ha⁻¹.

$$P = I \left(\frac{100-U}{100-13} \right) \quad (2)$$

Em que:

P = massa de grãos a 13% de umidade (kg);

U = teor de água atual dos grãos (%);

I = massa inicial da amostra (kg).

Os dados de produção por hectare (PH), número de espiga por hectare (NEP), plantas por hectare (PH), altura da planta (AP), altura de inserção da 1ª espiga (AiE), massa seca total (MST), massa de 100 grãos (MCG), número de grãos por fileiras (NGF), número de fileiras (NF), umidade dos grãos (UG), emergência (E) e diâmetro do colmo (DC). Após verificação da normalidade, os dados foram submetidos à análise de variância ao nível de 5% de significância e quando estes eram

significativos, o teste de Tukey foi aplicado a 5% de probabilidade para comparação das médias.

Resultados e Discussões

Características agronômicas da cultura do milho

Não foi observada interação entre os fatores população e espaçamentos para nenhuma das características avaliadas, sendo então, analisados os fatores individualmente (Tabela 3 e Anexo A).

Tabela 3 - Análise de variância das características agronômicas avaliadas em função das populações de plantas (P) e dos espaçamentos entre linhas (E)

Fator	PH (kg ha ⁻¹)	EP (espiga ha ⁻¹)	PLH (plantas ha ⁻¹)	MCG (kg 100grãos ⁻¹)	MST (kg)	IVE (dias)
População (P)						
45.000	2.487 b	24.777 b	28.290 b	28,25	2,93	2,09 b
65.000	3.343 a	36.500 a	42.212 a	28,84	2,80	3,47 a
Espaçamento (E)						
0,45	2.575 b	26.027 b	35.253	28,37	3,05	2,44 b
0,90	3.256 a	35.249 a	35.249	28,72	2,69	3,12 a
Teste F						
P	10,22 **	103,69 **	102,64 **	0,23 ^{ns}	0,21 ^{ns}	31,34 **
E	6,46 *	64,18 **	0,00 ^{ns}	0,08 ^{ns}	1,68 ^{ns}	7,70 **
P x E	0,32 ^{ns}	1,12 ^{ns}	0,50 ^{ns}	1,13 ^{ns}	0,66 ^{ns}	2,60 ^{ns}
DMS						
P	533,49	2.293	2.737	2,40	0,55	0,49
E	533,49	2.293	2.737	2,40	0,55	0,49
CV	41,08	16,80	17,43	18,91	43,61	39,76

Legenda: ns: não significativo (P>0,05); *: significativo (P<0,05); **: significativo (P<0,01); CV: coeficiente de variação.

Observam-se diferenças significativas entre a população e o espaçamento para a produção por hectare (PH), espiga por hectare (EH), plantas por hectare (PLH) e emergência (E). Na análise de variância para a produção por hectare, verificou-se uma diferença significativa para os tratamentos (Tabela 3). Este resultado, no aumento da produção por hectare, pode ser atribuído ao aumento do número de espigas por

hectare e, conseqüentemente, do número de plantas por hectare, e isso pode ser atribuído a maior interceptação de radiação e a redução de competição pelos recursos do meio.

Com relação à massa dos 100 grãos (MCG), verificou-se pela análise estatística, que não houve efeito significativo dos fatores população e espaçamentos, bem como da interação entre os dois fatores (Tabela 3).

Deparis *et al.* (2007) verificaram maiores massas dos grãos por espiga no espaçamento de 90 cm, quando comparado com o de 60 e 45 cm. Kappes *et al.* (2011) verificaram que a massa de grãos por espiga não foi afetada significativamente com aumento de espaçamento de 45 cm para 90 cm entre linhas.

A matéria seca total (MST), também não apresentou efeito significativo entre os tratamentos, bem como da interação entre os fatores (Tabela 3). O índice de velocidade de emergência (IVE) foi maior na população de 65.000 plantas por hectare e no espaçamento de 0,90 m, embora não tenha constatado interação entre os fatores. Este resultado pode estar associado a competição intraespecífica por recursos do meio precocemente, dificultando o estabelecimento de plântulas com emergência tardia.

Na Tabela 4, observa-se a interação entre os fatores população e espaçamentos para UG (umidade dos grãos) e DC (diâmetro do colmo), o que necessita do desdobramento para explicar os resultados. As demais variáveis não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos.

Tabela 4 - Análise de variância das características agrônômicas avaliadas em função da população de plantas (P) e do espaçamento entre linhas (E)

Fator	AiE (cm)	AP (cm)	NGF	NF	UG (%)	DC (cm)
População(P)						
45.000	64,03	129,32	26,13	13,47	14,05	20,02
65.000	61,67	125,40	24,36	13,13	14,34	19,23
Espaçamentos (E)						
0,45	62,96	125,67	25,87	13,41	14,72	19,65
0,90	62,75	129,05	24,62	13,20	13,67	19,60
Teste F						
P	0,95 ^{ns}	1,33 ^{ns}	1,94 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,18 ^{ns}	1,69 ^{ns}
E	0,44 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,39 ^{ns}	2,45 ^{ns}	0,53 ^{ns}
P x E	0,31 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,39 ^{ns}	5,27*	8,91**
DMS						
P	5,15	6,77	2,53	0,67	1,33	1,22
E	5,15	6,77	2,53	0,67	1,33	1,22
CV	18,43	11,94	22,56	11,36	21,13	13,97

Legenda: ns: não significativo (P>0,05); *: significativo (p<0,05); **: significativo (p<0,01); CV: coeficiente de variação

A altura da planta e da inserção da primeira espiga não foi influenciada pelo aumento da população e espaçamento entre linhas (Tabela 4 e Anexo A). Fantin *et al.* (2016) verificaram que menores densidades de plantas reduzem a altura da planta e favorecem o engalhamento, devido à maior entrada de luz no dossel, favorecida pelos maiores espaços entre as plantas, o que não foi observado neste trabalho. Em espaçamentos mais abertos, o milho apresenta maior altura de planta como característica, por conseguinte, maior altura de inserção de espigas (PORTO *et al.*, 2011; PENARIOL *et al.*, 2003; ALVAREZ *et al.*, 2006).

Na interação entre os fatores população e espaçamento para umidade de grãos (UG), verifica-se que o espaçamento de 0,45 m (E1) na população de 45.000 plantas ha⁻¹ (P1) proporcionou maior umidade dos grãos (Tabela 5), não diferindo dos demais nesse tratamento, no entanto, o menor valor de umidade de grãos foi obtido no espaçamento de 0,90 m (E2), na população de 45.000 plantas ha⁻¹.

Tabela 5 - Desdobramento para a umidade dos grãos em função da população de plantas (P) e do espaçamento entre linhas (E)

População (plantas/ha)	Espaçamentos (m)	
	0,45	0,90
45.000	15,35 aA	12,75 aB
65.000	14,09 aA	14,58 aA

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

De acordo com o desdobramento (Tabela 6), verifica-se que, no espaçamento de 0,90m (E2) proporcionou maior diâmetro do colmo, não diferindo estatisticamente do espaçamento de 0,45 m (E1). Para a população, o maior diâmetro do colmo foi obtido na população de 45.000 plantas ha⁻¹, não diferindo dos demais tratamentos.

Tabela 6 - Desdobramento para o diâmetro do colmo em função da população e do espaçamento

População (plantas/ha)	Espaçamentos (m)	
	0,45	0,90
45.000	19,37 aA	20,72 aA
65.000	19,97 aA	18,48 bA

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

De acordo com Fancelli e Dourado Neto (2000), o colmo é uma importante característica para a produção, normalmente o seu diâmetro apresenta correlação com a produtividade por se tratar de um órgão de reserva da planta. Assim, o colmo atua como estrutura de armazenamento de sólidos solúveis que serão utilizados posteriormente na formação dos grãos e conferindo maior resistência ao acamamento.

Demétrio *et al.* (2008) verificaram que a redução do espaçamento entre linhas de 80 cm para 40 cm não afetou o diâmetro do colmo das plantas de milho. Gilo *et al.* (2011) avaliando o comportamento de híbridos de milho, concluíram em seu trabalho que o espaçamento de 0,90m não interfere no diâmetro de colmo. Segundo Staccianiri *et al.* (2010) o diâmetro de colmo foi influenciado tanto pelo espaçamento entre linhas quanto pela população, tendo o efeito da interação não sido significativo.

Conclusões

O arranjo espacial das plantas, representado pela população de plantas e espaçamento, influenciou os componentes da produção e a produtividade do milho.

O tratamento T4 (população de 65.000 plantas por hectare e espaçamento de 0,90 m) apresentou o melhor desempenho produtivo.

O tratamento T1 (população de 45.000 plantas por hectares e espaçamento de 0,45 m) foi responsável pelo menor desempenho produtivo do milho, não sendo recomendado em outros experimentos para a região.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, C. G. D.; VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D. Avaliação de características agronômicas e de produção de forragem e grãos de milho em diferentes densidades de semeadura e espaçamentos entre linhas. **Revista Ciência Agrotécnica**, v.30, n.3, p. 402-408, 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 395p.
- DEMÉTRIO, C. S.; FORNASIERI FILHO, D.; CAZETTA, J. O.; CAZETTA, D. A. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, n.12, p.1691-1697, 2008.
- DEPARIS, G. A.; LANA, M. DO C.; FRANDOLOSO, J. F. Espaçamento e adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura do milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.29, n.4, p.517-525, 2007.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. (Irrigation and drainage paper, 24). Mesquita Filho, 1998.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 2011. 212p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 230p.
- FANCELLI, L. A.; DOURADO-NETO, D. **Produção de Milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.
- FANTIN, N. A. M.; MEERT, L.; HANEL, A.; ALENCAR, J. R. C.; PETEAN, L. P. Componentes de produção e qualidade de semeadura de soja em função de diferentes velocidades do conjunto trator-semeadora. **Brazilian Journal of Applied Tecnology for Agricultural Science**, v.9, p.7-15, 2016.
- GILO, E.G.; SILVA JUNIOR, C. A.; TORRES, F. E.; NASCIMENTO, E. S. E LOURENÇÃO, A. S. Comportamento de híbridos de milho no Cerrado Sul-Mato-Grossense, sob diferentes espaçamentos entre linhas. **Bioscience Journal**, v.27, n. 6, p. 908-914, 2011.
- KAPPES, C.; ANDRADE, A. C. J.; ARF, O.; OLIVEIRA, A C.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P. Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas. **Bragantia**, v.70, n.2, p.334-343, 2011.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.2, p.176-77, 1962.

PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D.; COICEV, L.; BORDIN, L.; FARINELLI, R. Comportamento de cultivares de milho semeados em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.2, p.52-60, 2003.

PORTO, A. P. F.; VASCONCELOS, R. C. DE; VIANA, A. E. S.; ALMEIDA, M. R. S. de. Variedade de milho a diferentes espaçamentos no Planalto de Vitória da Conquista - BA. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.1, p.208-214, 2011.

STACCIARINI, T. de C. V.; CASTRO, P. H. C.; BORGES, M. A.; GUERIN, H. F.; MORAES, P. A. C.; GOTARDO, M. Avaliação de caracteres agrônômicos da cultura do milho mediante a redução do espaçamento entre linhas e aumento da densidade populacional. **Revista Ceres**, v.57, n.4, p.516-519, 2010.

4 ANÁLISE MULTIVARIADA NA PRODUTIVIDADE DO MILHO EM FUNÇÃO DA POPULAÇÃO DE PLANTAS E ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS

RESUMO

O milho, pelo seu potencial produtivo, composição química e valor nutritivo, entre outros fatores, constitui-se em um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo. Neste contexto, objetivamos neste trabalho verificar por métodos multivariados as variáveis críticas para a estimativa da produtividade do milho em função da população de plantas e espaçamento entre linhas. Os experimentos foram realizados na Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE em Argissolo Vermelho Amarelo, com delineamento experimental em blocos casualizados, esquema fatorial 2 x 2, e utilizando duas populações (45.000 e 65.000 plantas ha⁻¹) e dois espaçamentos (0,45 e 0,90 m) em um total de 20 repetições. No estudo, avaliaram-se os atributos do solo, bem como os componentes de produção do milho. Serviram para estimar a produtividade do milho por hectare (PH) as seguintes variáveis: o número de espigas por hectare (EH), o número de grãos por fileiras (NGF), o número de fileiras (NF), massa de 100 grãos (M100G). O modelo encontrado foi $PH = 13,6 \times 10^{-6} \times (EH)^{1,009} \times (NGF)^{0,979} \times (NF)^{0,940} \times (M100G)^{0,943}$. A metodologia aplicada neste estudo mostrou-se adequada e pode ser aplicada em outros experimentos.

Palavras-chave: Correlação. Componentes de produção. Manejo.

ABSTRACT

Maize by its productive potential, its chemical composition and its nutritional value, among other factors, constitutes one of the most important cereals cultivated and consumed in the world. The objective of this work is to verify by multivariate methods the critical variables for estimating maize productivity as a function of plant population and line spacing. The experimental design was a randomized block design, 2 x 2 factorial scheme, two populations (45,000 and 65,000 plants ha⁻¹) and two spacing (0.45 and 0.90 m), with 20 replicates. Soil attributes and maize production

components were evaluated. The number of spikes per hectare and the number of grains per row were the variables that served to estimate corn yield. The model found was $PH = 13.6 \times 10^{-6} \times (EH)^{1.009} \times (NGF)^{0.979} \times (NF)^{0.940} \times (M100G)^{0.943}$, where: PH = Production per Hectare; EH = Spikes per hectare; NGF = Number of grains per file per spike; M100G = Mass of 100 grains and NF = Number of Row per spike. The methodology applied in this study was adequate and can be applied in other experiments.

Keywords: Correlation. Production components. Management.

Introdução

O milho (*Zea mays L.*) é hoje o cereal mais produzido no mundo, é esperada uma produção de 1.031,9 milhões de toneladas para a safra 17/18, a produção mundial concentra-se basicamente em três grandes produtores: EUA, China e Brasil; sozinhos esses países representam 65,62% da produção mundial de milho.

A produtividade mundial do milho na safra 2016/2017 foi de 181,87 sacas por hectares, enquanto que, a brasileira foi de 17,72 sacas por hectares segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento do Estado do Ceará. A produtividade do milho no Brasil é considerada baixa, e isto está relacionado com as condições climáticas, arranjo espacial de plantas, bem como à fertilidade do solo e práticas de manejo inadequadas.

Os atributos físicos do solo têm sido considerados por alguns autores como indicadores das diferenças entre áreas com diferentes sistemas de manejo e têm influência direta no desenvolvimento radicular das culturas e, conseqüentemente, na sua produtividade. Neste contexto, a amostragem do solo é uma importante etapa para caracterização dos atributos físicos e químicos de uma área e definir práticas de manejo e adubação.

O arranjo de plantas de milho realizado por meio de alterações na densidade populacional, nos espaçamentos entre linhas, na distribuição de plantas na linha e na variabilidade entre plantas é uma das práticas de manejo mais importantes para maximizar a interceptação da radiação solar, otimizar o seu uso e potencializar a produtividade da cultura.

O Sistema Plantio Direto é uma das mais eficientes estratégias para melhoria da qualidade e do potencial produtivo dos solos agrícolas propiciando economia ao sistema de produção de grãos por reduzir o número de operações com máquinas agrícolas e diminuir a erosão do solo das lavouras, em relação ao preparo convencional.

O uso de técnicas de estatística multivariada avalia simultaneamente as variáveis, identificando aquelas com real poder de discriminação, o que permite a compreensão dos relacionamentos entre as variáveis e as classes de qualidade que se agrupar.

Apesar das técnicas multivariadas serem conhecidas há bastante tempo, sua utilização em maior escala só se tornou possível com a disponibilidade dos recursos computacionais que possibilitaram a avaliação simultânea de várias características e permitiram que inúmeras inferências pudessem ser feitas a partir do conjunto de dados existentes.

O objetivo deste trabalho é estimar a produtividade de grãos de milho por meio de técnicas de regressão linear simples ou multivariada para seleção de variáveis respostas. Além disso, buscamos encontrar os grupos de variáveis e fatores latentes via análise fatorial para determinar a regressão em função das variáveis que melhor satisfaçam todos os pressupostos da técnica. Este estudo foi realizado em função de duas populações de plantas e dos espaçamentos entre linhas, sob sistema de plantio direto.

Material e Métodos

Localização do experimento, Clima e Solo

O experimento foi conduzido em Argissolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2013), na Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil, situada a 19 m ao nível do mar, nas coordenadas geográficas de 03°43' latitude Sul e 38°32' longitude Oeste. Segundo a classificação de Koppen, o clima da região apresenta-se como Tropical chuvoso com precipitação de verão - outono, tipo Aw', com médias anuais de temperatura de 28°C e precipitação de 900mm.

Área experimental

A área experimental está em processo inicial de implantação do sistema plantio direto. Em novembro de 2014, foram implantadas as forrageiras crotalárias, sorgo e capim mombaça com intuito de formar palhada para a semeadura de milho, que aconteceu no mês de março de 2015.

Na sequência, após manejo com herbicida, foi semeada a cultura do feijão em agosto de 2015. Após a colheita e dessecação do feijão nos anos agrícolas 2015/2016, foi implantado o consórcio de *Brachiaria brizantha* com milho. No ano decorrente foi realizada a implantação da cultura do milho para a realização deste trabalho.

Sementes, Adubações e Fertilizantes

A semente de milho utilizada no experimento foi a cultivar *Al avaré*, com pureza de 98% e sobrevivência de 85%, visando uma população de 55.000 plantas ha^{-1} , com espaçamento entrelinhas de 0,90 m e densidade de semeadura de 6 sementes m^{-1} . Para a população de 45.000 plantas ha^{-1} com espaçamento entrelinhas de 0,45m e a densidade de semeadura de 3 sementes m^{-1} .

Durante condução da cultura do milho, foram realizadas adubações de base e de cobertura. Na adubação de base, utilizou-se 250 kg ha^{-1} de fertilizante na formulação comercial de NPK 10-28-20. A adubação de cobertura foi realizada nos estádios V₂, V₄ e V₈ do milho, utilizando 300 kg ha^{-1} de uréia e 120 kg ha^{-1} de cloreto de potássio.

Durante o ciclo da cultura, foram efetuadas quatro aplicações do produto Lufenurom (i.a) na dose de 18g ha^{-1} do ingrediente ativo contra a presença da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) e lanat BR inseticida fosforado (princípio ativo: metomil), nos estádios V₄, V₈, V₁₂ e R₁. A demarcação da área foi realizada e em seguida realizou-se a semeadura manualmente entre os dias 12 e 14 de maio de 2016 (Figura 7).

Figura 7- Demarcação da área e semeadura



Fonte: elaborada pelo autor.

Descrição dos Tratamentos

Inicialmente, por meio do planejamento estatístico, calculou-se o número mínimo de amostras para que os dados possivelmente apresentassem distribuição normal. O número mínimo de amostras encontrado foi de 10 amostras para cada repetição, no entanto, com o propósito de aumentar a possibilidade de ocorrer normalidade dos dados, foi obtida uma quantidade padrão de 20 amostras para cada repetição.

A metodologia estatística adotada permite verificar o número de amostras necessárias para que haja normalidade dos dados no experimento, consistiu na análise do erro médio padrão. Com este valor em mãos, foi considerando o erro β de 10% e, por meio do gráfico de curvas características de operação, foi encontrado o número de amostras que serão utilizadas para as avaliações (MONTGOMERY, 2004).

A escolha de uma amostra formada por 80 células (observações) baseou-se no fato de que, no início, tinham-se 24 variáveis, porém tinha-se a expectativa de que muitas destas fossem eliminadas, pelas técnicas a serem usadas, de tal forma que ao final houvesse no mínimo a proporção de 5:1, ou seja, 5 observações por variável.

Para realização do experimento, foi utilizada uma área de 100 x 24 m, que foi dividida em 80 células de 10 x 3m. Feita essa divisão, foram enumeradas com

placas cada célula, de 1 a 80 (Figura 2, Capítulo 1). A segunda fase a ser realizada foram os sorteios, que seguiram os seguintes passos:

1. Sorteio da Célula;
2. Sorteio do tratamento que a célula sorteada anteriormente iria receber.

Os tratamentos foram compostos de duas populações (P1 - 45.000 plantas ha⁻¹, P2 - 65.000 plantas ha⁻¹) e dois espaçamentos (E1-0,45 m, E2- 0,90 m), totalizando quatro tipos de tratamentos (T1- P1E1, T2-P1E2, T3-P2E1, T4-P2E2) com vinte repetições.

A terceira fase foi o plantio realizado de forma manual, devido ao grau de variação existente entre células vizinhas e o tamanho da célula. Depois foi realizado o sorteio das células. A área útil para avaliação das variáveis teve as seguintes dimensões: 5 metros de comprimento por 0,90m de largura, parte central do retângulo, totalizado 4,05 m² de área útil por parcela.

Atributos físicos do solo

Foram determinados os seguintes atributos físicos do solo: macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade, pelo método da mesa de tensão, preconizado por Kiehl (1979). Nas referidas avaliações, foram utilizadas determinações volumétricas em monólitos com estrutura natural, com volume conhecido (100 cm³), um ponto por parcela, nas camadas de 0,0 - 0,15m e 0,15 - 0,30m, pela metodologia preconizada pela Embrapa (2011).

Para que fosse possível determinar a resistência mecânica do solo à penetração, foi definida, no centro de cada área útil das parcelas, um ponto. Em seguida foi utilizado o penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar- Stolf, sendo as leituras realizadas com valores tomados nas profundidades de 0,0-0,15 e 0,15-0,30 m.

No momento da determinação da resistência mecânica do solo à penetração foi realizada a coleta de solo para determinação do teor de água nas mesmas profundidades, utilizando a metodologia proposta por Hillel (1980). Assim as amostras foram pesadas ainda úmida e seca em estufa a 105°C por 24 horas, depois pesadas novamente e a diferença entre as massas obtidas, determinando o teor de água presente no solo no momento da avaliação.

Componentes da produção

As variáveis avaliadas foram: altura de planta (AP), altura de inserção da primeira espiga (AiE), diâmetro do colmo (DC), índice de velocidade de emergência (IVE), número de fileiras por espiga (NE), número de grãos por fileira (NGF), massa de 100 grãos (MCG), número de espigas por hectares (NEH), produção por hectares (PH) e matéria seca do milho (MS).

Para a determinação da altura da planta em cm (AP) foram selecionadas dez plantas da área útil. Com uma fita métrica, foi medida a altura de planta, medindo a distância entre o nível do solo e a inserção da folha bandeira. Por sua vez, a altura de inserção da primeira espiga em cm (AiE) foi obtida medindo-se da superfície do solo até a inserção da primeira espiga. O diâmetro do colmo em cm (DC) foi mensurado por meio de um paquímetro digital, calculando-se a média das medições do maior e menor diâmetro, no internódio situado acima do primeiro nó das raízes adventícias, obtendo-se o diâmetro médio do colmo.

Para determinação do número de fileira por espiga (NFE), foi contado o número de fileiras de dez espigas de cada parcela. Para determinação do número de grãos por fileiras (NGF), contou-se o número de grãos por fileira de dez espigas de cada parcela, obtendo-se, assim, a média de cada tratamento (Figura 5B).

O índice de velocidade de emergência em dias (IVE) foi calculado a partir de contagens diárias conforme metodologia proposta por Maguire (1962), posterior ao teste de emergência (Equação 3).

$$IVE = [(E_1/N_1) + (E_2/N_2) + \dots + (E_n/N_n)] \quad (3)$$

Em que:

IVE é o Índice de Velocidade de Germinação, em número de dias após a semeadura;

N_1 , N_2 e N_n são os números de dias após a implantação do teste;

E_1 , E_2 e E_n são os números de plântulas computadas na primeira, segunda e última contagem.

À massa de 100 grãos em $g \ 100 \text{ grãos}^{-1}$ (MCG) foram obtidos de acordo com as Regras de Análises de Sementes (BRASIL, 2009). Para determinar a umidade dos grãos (UG) foi utilizado o medidor de umidade de grãos portátil marca Minipa®, após isso, a massa de grãos produzida foi corrigida para 13% de umidade. Para determinação do número de espigas por hectares (NEH) foram contadas as espigas das

linhas centrais de cada parcela com dez metros cada. Os valores encontrados foram extrapolados para número de espigas ha^{-1} .

Para determinação da produção de matéria seca do milho em g ha^{-1} (MS), primeiramente, foi realizado o corte das plantas de milho a 2 cm acima da superfície do solo dentro da área útil. Posteriormente, foram pesadas todas as plantas, descontando-se o peso dos grãos após a trilha, obtendo-se, assim, o peso da massa verde da palha. Após secagem em estufa com circulação forçada de ar, por 72h a 65°C , determinou-se a porcentagem de água e posterior cálculo da produção de massa seca de palha em kg ha^{-1} .

Para produção de grãos em kg ha^{-1} (PH) foram coletados todas as espigas da área útil, e em seguida realizada a trilha. Depois da trilha, os grãos foram separados, pesados, para determinar a umidade, e os valores foram corrigidos a 13% de umidade, com base nas Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009) pela Equação 4. Após transformar a massa dos grãos à base de 13%, os resultados foram extrapolados para kg ha^{-1} .

$$P = I \left(\frac{100-U}{100-13} \right) \quad (4)$$

Em que:

P = massa de grãos a 13% de umidade (kg);

U = teor de água atual dos grãos (%);

I = massa inicial da amostra (kg).

Os dados dos atributos físicos do solo e das componentes da produção, após verificação da normalidade foram submetidos à análise de variância ao nível de 5% de significância e, quando significativos, foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação das médias utilizando o software SPPSS Statistic versão 2.0.

Análise Multivariada de Dados

Regressão Linear

A Regressão Linear tem como objetivo estudar as relações entre duas ou mais variáveis explicativas, podem ser expressas na forma Linear, ou seja, uma função polinomial de grau um, porém adicionando um erro (Equação 5).

$$Y_i = \alpha_1 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_n x_{ni} + e_i \quad (5)$$

Em que:

α = representação de uma constante, que geometricamente é onde a reta da regressão corta o eixo Y;

β_i = coeficientes angulares, e representa o erro ou resíduo da regressão;

Y = fenômeno em estudo (variável dependente métrica) e x_i são as variáveis explicativas (variáveis independentes métricas ou *dummies*).

A modelagem requer, em qualquer nível de complexidade, alguns pressupostos (CORRAR *et al.*, 2012): 1 - Normalidade dos resíduos; 2 - Homoscedasticidade dos resíduos; 3 - Linearidade dos coeficientes; 4 - Ausência de autocorrelação serial entre os resíduos e 5 - Multicolinearidade entre as variáveis independentes abordados a seguir.

Normalidade dos Resíduos

A normalidade no conjunto de resíduos é usada para a definição do intervalo de confiança e dos testes de significância. Além disso, também indica que os casos amostrados se dispõem normalmente em toda a extensão da população (Tabela 7), porém ela não é necessária para obtenção dos estimadores pelo método dos mínimos quadrados (CORRAR *et al.*, 2012).

Tabela 7- Testes de Normalidade

Teste	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estatística	GL	Valor-p	Estatística	GL	valor-p
Standardized Residual	0,070	80	0,200*	0,987	80	0,612

* - Limite inferior da significância verdadeira, a - correlação de significância de Lilliefors.

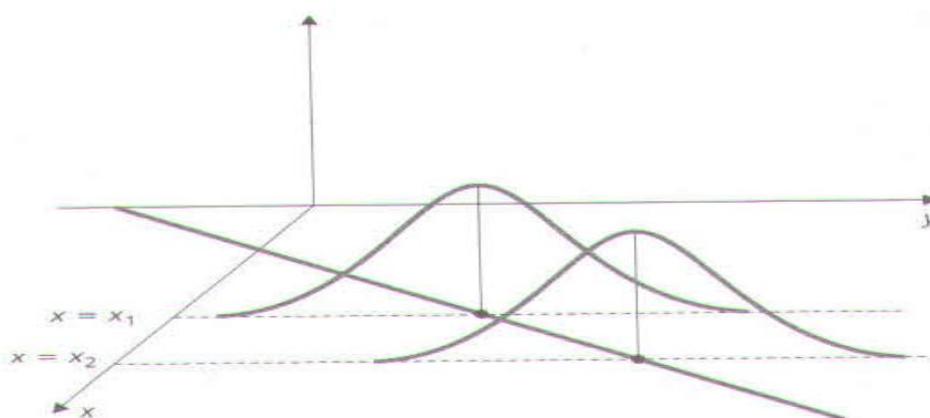
Os testes de Kolmogorov-Smirnov e o Shapiro-Wilk são feitos usando: H_0 : a amostra provém de uma distribuição normal $N(\mu, \sigma)$ e H_1 : a amostra não provém de uma distribuição normal $N(\mu, \sigma)$.

Segundo Corrar *et al.* (2012), uma possível causa para a violação desse pressuposto é a presença de *outliers* nos dados, como queríamos obter as condições reais em que se encontrava o experimento, optou-se por manter os *outliers*, formulação matemática incorreta ou omissão de variáveis explicativas.

Homoscedasticidade dos Resíduos

O conjunto de resíduos concernente a cada observação deve ter variância constante ou homogênea em toda a extensão da variável independente (FIGURA 8). A violação deste pressuposto da regressão é conhecida com Heteroscedasticidade. Existem alguns testes para verificar a violação deste pressuposto, como: White, Glejser, Park, Pesarán-Pesarán.

Figura 8 - Gráfico pressuposto da regressão



Fonte: Corrar *et al.* (2012)

Segundo Gujarati (2011), o teste de White não requer a hipótese de normalidade e é facilmente implementado. Os passos do teste são os seguintes: Para fixar as ideias, consideremos o modelo de regressão (EQUAÇÃO 6):

$$Y_i = \alpha_1 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_n x_{ni} + e_i \quad (6)$$

Passo 1: Com os dados dos resíduos e_i , salvos, introduz-se uma nova variável, calculada da seguinte forma e_i^2 , passa-se ao passo 2.

Passo 2: Então, faz-se a seguinte regressão auxiliar:

$$e_i^2 = \alpha_1 + \gamma_1 x_{1i} + \gamma_2 x_{2i} + \gamma_3 x_{1i}^2 + \gamma_4 x_{2i}^2 + \gamma_5 x_{1i} x_{2i} + \pi_i \quad (7)$$

Ou seja, os resíduos ao quadrado da regressão original são calculados por regressão contra as variáveis x originais, seus produtos cruzados e elevados ao quadrado; desta nova regressão se pega R^2 .

Passo 3: Sob Hipótese nula de que não há heteroscedasticidade, faz-se a seguinte estatística:

$$W = n \cdot R^2 \sim \chi^2_{[2p+0,5(p^2-p)]} \quad (8)$$

Em que:

n = tamanho da amostra;

p = número de variáveis originais independentes.

Passo 4: Se o valor do qui-quadrado obtido exceder o valor crítico do qui-quadrado ao nível escolhido de significância, a conclusão é de que há heteroscedasticidade.

O teste de Pesarán-Pesarán consiste em regredir o quadrado dos resíduos padronizados como uma função do quadrado dos valores estimados padronizados. As Hipóteses a serem testadas são: H_0 : Os resíduos são Homoscedásticos e H_1 : Os resíduos são Heteroscedásticos. Neste teste, avalia-se o coeficiente dos valores estimados padronizados, do ponto de vista de sua significância estatística, da mesma forma para qualquer regressão, se esta não tiver significância, indica que os resíduos são Homoscedásticos. Outra forma para o diagnóstico da homoscedasticidade pode ser realizada por meio gráficos (CORRAR *et al.*, 2012; MARÔCO; PINHEIRO, 2014).

As transformações de dados semelhantes são empregadas para atingirem a normalidade, e podem ser empregadas para corrigir o problema da heteroscedasticidade dos resíduos (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009). Várias transformações são usadas para corrigir a não normalidade, apenas a transformação logarítmica soluciona a não normalidade e trata a heteroscedasticidade, mostrando assim a ligação entre elas (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009).

Linearidade dos coeficientes

Neste estudo, usou-se o modelo clássico de regressão linear, ou seja, a linearidade dos coeficientes. Este pressuposto, devido à forma de estimá-los, método dos mínimos quadrados, não é violado (CORRAR *et al.*, 2012). Devem-se se destacar, como frisa Corrar *et al.* (2012), dois aspectos para o termo Linear (Equação 9):

$$f_m = d_{m1}x_1 + \dots + d_{mi}x_i \quad (9)$$

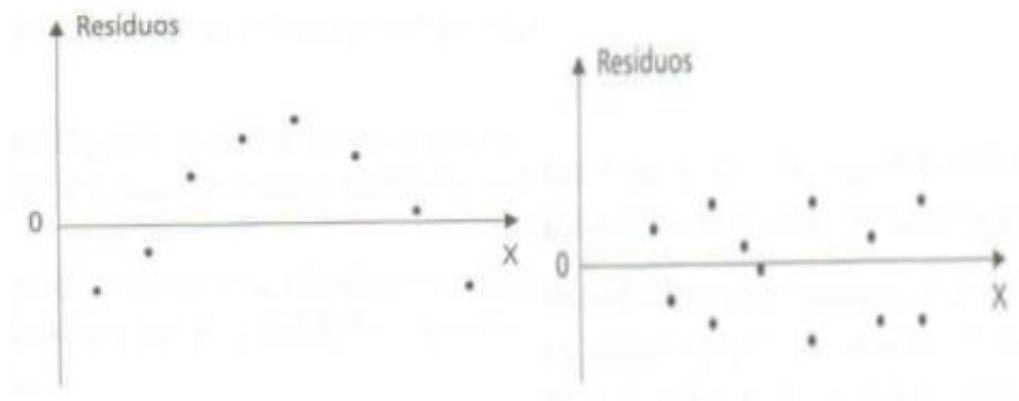
Em que:

f_m = função linear; nesse caso, tem-se a seguinte interpretação geométrica; se for uma regressão linear simples, sua representação geométrica é uma reta, se for uma regressão linear multivariada, no \mathfrak{R}^3 tem-se um plano. O diagnóstico desta linearidade pode ser feito pelo diagrama de dispersão.

Ausência de autocorrelação serial entre os resíduos

Segundo Gujarati (2011), a autocorrelação pode ser definida como correlação entre integrantes de série de observações ordenadas no tempo ou no espaço. Em termos estatísticos, é: $E(e_i e_j) = 0$. Para avaliar se existe ou não autocorrelação, existem duas formas: gráfico e o teste de Durbin-Watson. Fazem-se os gráficos dos resíduos em relação a qualquer variável sequencial possível. Se o gráfico não mostrar um padrão aleatório (FIGURA 9), então, tem-se a violação deste pressuposto, caso contrário, não se tem a violação (HAIR *et al.*, 2009).

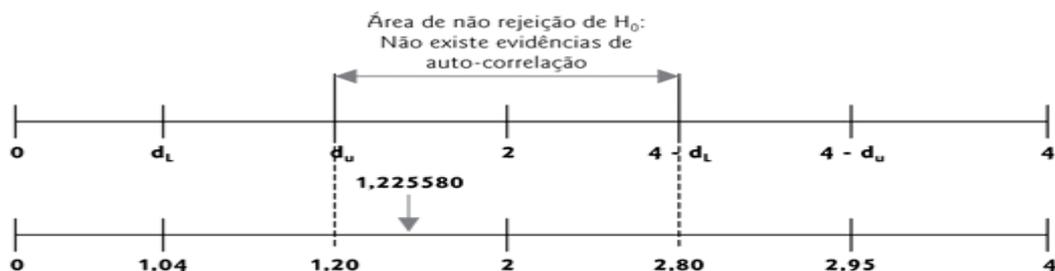
Figura 9 - Gráficos de resíduos



Fonte: Corrar *et al.* (2012).

Se o resultado do teste estiver próximo de 2, conclui-se que, não existe autocorrelação entre os resíduos (Figura10), os valores de d_L e d_U para $\alpha=0,05$ (MARÔCO; PINHEIRO, 2014).

Figura 10 - Análise do teste de Durbin-Watson para autocorrelação dos resíduos



Fonte: Silva *et al.* (2007).

Multicolinearidade entre as variáveis independentes

Hair Júnior *et al.* (2009) relata que os termos correlação e multicolinearidade são conceitos diferentes, pois a correlação é a medida com que duas variáveis independentes estão associadas, enquanto a multicolinearidade refere-se à correlação entre três ou mais variáveis independentes. Matematicamente falando, seria o caso em que se tem o seguinte fato: Sejam x_1, x_2 e x_3 variáveis independentes em uma regressão, se for possível a regressão $x_1 = \alpha + \beta_1 x_2 + \beta_2 x_3 + e$, ou de outra combinação entre as variáveis, tem-se multicolinearidade. A multicolinearidade tende a distorcer os coeficientes estimados para as variáveis; dessa forma, prejudicando a habilidade preditiva do modelo (CORRAR *et al.*, 2012).

Para avaliar se existe a multicolinearidade no modelo, faz-se o teste VIF (*Variance Inflation Factor*) e Tolerância (*Tolerance*) (Equações 10 e 11).

$$Tolerância = 1 - R_k^2 \quad (10)$$

$$VIF = 1/Tolerância \quad (11)$$

Em que:

R_k^2 = coeficiente de ajuste da regressão da variável explicativa com as demais variáveis explicativas.

Para VIF superior a 5 ou mesmo 10, indicam problemas de multicolinearidade (MARÔCO; PINHEIRO, 2014). Corrar *et al.* (2012) mostra a seguinte tabela (Tabela 8). A utilização de uma análise fatorial, antes de se fazer uma regressão, ajuda a amenizar ou eliminar este problema (FÁVERO *et al.*, 2009).

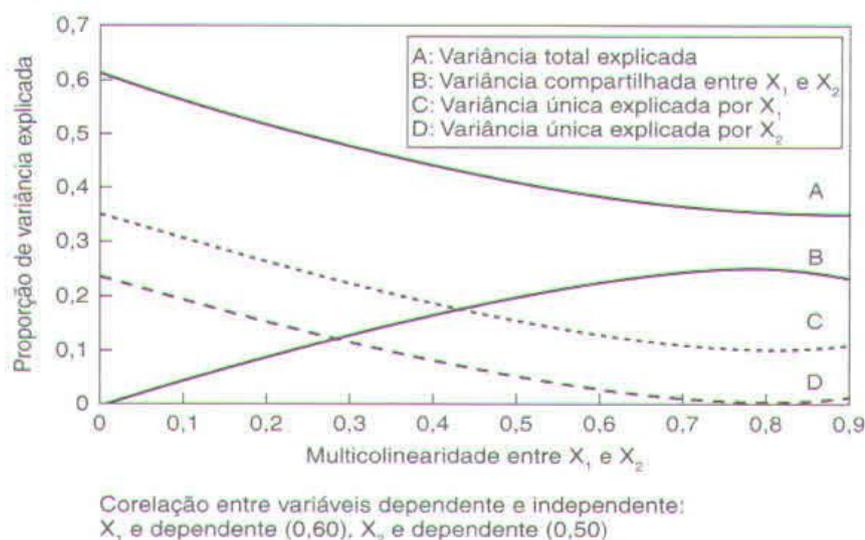
Tabela 8- VIF e Tolerance

Multicolinearidade	VIF	Tolerance
Sem Multicolinearidade	Até 1	Até 1
Com Multicolinearidade aceitável	De 1 até 10	De 1 até 0,10
Com Multicolinearidade problemática	Acima de 10	Abaixo de 0,10

A utilização de uma análise fatorial antes de se fazer uma regressão, ajuda a amenizar ou eliminar este problema (FÁVERO *et al.*, 2009). Caso exista multicolinearidade entre as variáveis independentes é possível fazer ações corretivas como omitir uma ou mais variáveis independentes altamente correlacionadas ou utilizar o modelo apenas para previsão, ou seja, jamais tentar interpretar os

coeficientes (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009). A Figura 11 mostra os efeitos da multicolinearidade.

Figura 11- Efeitos da multicolinearidade



Fonte: Hair Júnior *et al.* (2009)

Hair Júnior *et al.* (2009) explica que: “À medida que a multicolinearidade aumenta, a variância total explicada diminui (estimação). Além disto, a quantidade de variância única para as variáveis independentes é reduzida a níveis que tornam a estimação de seus efeitos individuais bastante problemáticos (explicação)”.

Tamanho da Amostra

O tamanho da amostra tem efeito diretamente sobre adequação e o poder estatístico da regressão, amostra com menos de 30 observações são apropriadas para regressão simples (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009). A regra geral afirma que deve haver no mínimo 5 observações para cada variável independente, mas o nível desejável está entre 15 a 20 observações por variáveis independentes (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009).

Coefficiente de Determinação

Em uma regressão, o coeficiente de determinação (R^2) mede a qualidade do ajustamento entre as variâncias, este está entre zero e um. O valor a produzir um

ajustamento adequado é algo subjetivo, pois este varia conforme a área em que a regressão está sendo aplicada.

Nas ciências exatas, $R^2 > 0,9$ são geralmente aceitos, enquanto que, nas ciências sociais, um $R^2 > 0,5$ é considerável aceitável (MARÔCO; PINHEIRO, 2014). Uma alternativa para avaliar a qualidade do ajuste é o coeficiente de determinação ajustado, R_a^2 , dado pelas Equações 12 e 13.

$$d_j^2 = (X_j - \bar{X})' S_{p \times p}^{-1} (X_j - \bar{X}), \quad j = 1, 2, \dots, 80 \quad (12)$$

$$R^2 = \frac{SQR}{SQT} \quad (13)$$

Em que:

SQR = soma dos quadrados da regressão;

SQT = soma dos quadrados totais;

p = número de parâmetros do modelo de regressão (variáveis explicativas mais o intercepto) e n é o tamanho da amostra.

Os coeficientes R^2 e o R_a^2 não dizem aos pesquisadores se (FÁVERO *et al.*, 2009): uma variável incluída é estatisticamente significativa; os regressores são a causa verdadeira dos movimentos na variável dependente; há um viés de omissão de variáveis; ou houve uma escolha apropriada do conjunto de regressores.

Coeficiente de Regressão

Os coeficientes da regressão linear representam: os tipos de relação e a força destas relações, entre as variáveis independentes e a variável dependente. O sinal indica o tipo de relação, enquanto o valor indica a variação no valor da dependente cada vez que a independente varia uma unidade (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009).

Um gráfico (Figura 12) que pode auxiliar na dedução do teste de Normalidade Multivariada é o Qui-Quadrado Plot (Gráfico de Probabilidade Qui-Quadrado, Gráfico Q-Q plot), que se faz seguindo os passos (MINGOTI, 2005):

1. Passo: Pela teoria da distribuição normal multivariada, tem-se que, quando o número de elementos n é grande, a variável: $d_j^2 = (X_j - \bar{X})' S_{p \times p}^{-1} (X_j - \bar{X})$, $j = 1, 2, \dots, n$. Tem aproximadamente uma distribuição Qui-Quadrado. O primeiro passo consiste em calcular todos estes valores (estas distâncias) em seguida ordená-los.

2. Passo: Com os $d_{(1)}^2 \leq d_{(2)}^2 \leq d_{(3)}^2 \leq \dots \leq d_{(n)}^2$, ordenado, onde $d_{(j)}^2$, representa a i -ésima estatística de ordem. Faça-se o gráfico dos pares $(d_{(j)}^2, \chi_p^2(\frac{j-0,5}{n}))$, onde, $\chi_p^2(\frac{j-0,5}{n})$ representa a ordem do percentil de ordem $100(\frac{j-0,5}{n})$ na distribuição qui-quadrado com p graus de liberdade, isto é: $P[\chi_p^2 \leq \chi_p^2(\frac{j-0,5}{n})] = (\frac{j-0,5}{n})$. Quando a normalidade p -variada é coerente com os dados amostrais, este gráfico deve resultar em algo próximo a uma reta. Curvas diferentes de reta indicam falta de normalidade. Este gráfico ainda é útil para identificar valores *outliers* multivariado.

Notação:

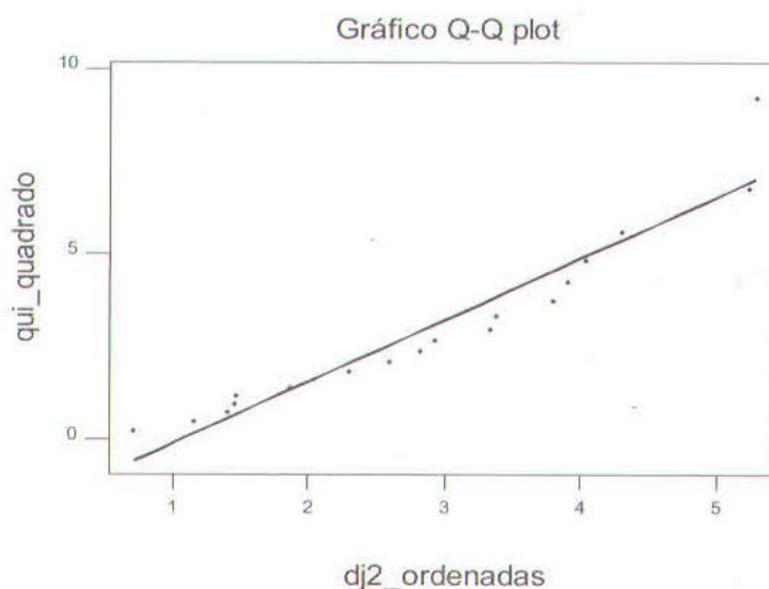
X_j : Representa os valores observado das p -variáveis do j

\bar{X} : é o vetor média amostral.

$S_{p \times p}$: é a matriz de covariância amostral.

p : número de variáveis.

Figura 12 - Gráfico do qui_quadrado versus Q-Qplot



Fonte: Mingoti (2005).

Validação dos Resultados

Encontrado o modelo de regressão e atendido os pressupostos, o passo seguinte é validação, ou seja, garantir que ele represente a população geral. Garantindo assim que ele é apropriado às situações nos quais será usado. Um dos critérios é a

extensão em que o modelo de regressão se ajuste a um modelo teórico existente ou um conjunto de resultados previamente validados sobre o mesmo tema.

Em muitos casos, no entanto, não existem resultados anteriores ou teoria disponível. Neste caso o critério é abordagem empírica para validação de modelo (HAIR *et al.*, 2009). A abordagem empírica se dá de duas maneiras: primeira, uma nova amostra é coletada da população geral, nela verifica se o modelo de regressão pode prevê-la e o ajuste preditivo pode ser calculado; segundo um modelo separado pode ser estimado com esta amostra e então comparado com a equação original em relação a características com as variáveis significativas incluídas; sinal, tamanho e importância relativa das variáveis; e precisão do modelo (HAIR *et al.*, 2009).

Devido a vários fatores, custo da coleta, tempo e outros, a opção é dividir amostra original em duas: Uma de estimação para criar o modelo de regressão e a outra validação (CORRAR *et al.*, 2012).

Aquisição de dados

A aquisição de dados foi obtida logo após o sorteio, plantio e outros depois da colheita. Para isso, foi criado um vetor-célula em que ficaram armazenados os dados, coma notação (EQUAÇÃO 14).

$$VC_j = (X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{ji}.), i, j: 1, 2, 3, \dots 80 \quad (14)$$

Em que:

X_{ij} = Informação da Variável i da Célula j , com as VC_j preenchidos, fizeram-se os testes de normalidade apropriados para as variáveis.

Programas Estatísticos utilizados

Os softwares utilizados para realização da análise estatística dos dados foram: o SPSS Statistics® e Excel 2010®.

Variáveis

A escolha das variáveis foi feita por meio de *Brainstorming*, que é um método empregado em reuniões, permitindo às pessoas expressarem suas ideias

referentes a alguma situação, tentando solucionar o problema, e, além disso, esse método pode ser aplicado na área agrícola, visando o aumento da qualidade da operação por meio de padrões estabelecidos em reuniões (SELEME; STADLER, 2008).

A reunião foi realizada pelo grupo de Pesquisa Núcleo Integrado de Mecanização e Projetos Agrícolas e, com base na experiência da equipe, determinou-se as variáveis a serem coletadas e estudadas (TABELA 9).

Tabelas 9 - Componentes da Equipe para realização do *Brainstorming*

Nome	Formação	Especialização
Valberto Rômulo Feitosa	Matemático	Análise multivariada
Carlos Alessandro Chioderoli	Professor Doutor	Máquinas Agrícolas
Elivânia Maria Sousa Nascimento	Engenheira agrônoma	Semeadura
José Evanaldo Lopes	Engenheiro agrônomo	Preparo do solo
Paulo Ricardo	Engenheiro agrônomo	Preparo do Solo
Marcelo Queiroz	Engenheiro agrônomo	Análise de campo
Wallisson Silveira	Engenheiro agrônomo	Produção Vegetal
Jean Lucas	Engenheiro agrônomo	Análises laboratoriais

Fonte: elaborado pelo autor.

Tratamentos e Análises estatísticas

Os passos para cada tratamento dos dados serão descritos a seguir:

1. Os dados dos atributos do solo foram submetidos à análise de variância em que foram eliminadas aquelas que não tiverem diferença significativa entre os tratamentos;

2. Com as variáveis restantes, foi feita uma matriz de correlação, as que não tiveram correlação significativa com a variável produção por hectare foram eliminadas.

3. Em seguida foi realizada uma modelagem com uma regressão linear múltipla, avaliando-se cada pressuposto e fazendo as transformações necessárias nas variáveis e a verificação dos impactos de cada uma na produção. Foi utilizado o método *stepwise* para modelagem. A última etapa foi à validação do modelo usando dados de experimentos do ano de 2015, ocorrido no mesmo local, para verificar o poder de estimação. Todas as análises foram efetuadas com o SPPSS Statistic (v.22, IBM SPSS).

O 1º trabalho foi realizado por Nicolau (2016), com o objetivo avaliar o desempenho energético e operacional do conjunto trator-semeadora na semeadura do milho, atributos físicos do solo e produtividade do milho em função de coberturas do solo e mecanismos sulcadores na região Nordeste. O experimento foi instalado na Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, em Argissolo Vermelho-amarelo. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com oito tratamentos em esquema fatorial $(2 \times 3) + 2$, com quatro repetições, totalizando 32 parcelas experimentais. Os tratamentos foram constituídos por dois mecanismos sulcadores (disco e haste) e três plantas de cobertura (crotalária, sorgo e capim mombaça) + duas testemunhas (milho em solo nu com disco e milho em solo nu com haste).

O 2º experimento foi realizado por Santos (2016) com o objetivo de verificar a ocorrência de mudanças nas propriedades físicas do solo, bem como na produtividade do milho e produção de matéria seca em função do consórcio milho/forageiras em duas épocas de semeadura. O presente trabalho foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará utilizando o delineamento em blocos ao acaso, no esquema fatorial $(3 \times 2) + 1$ com quatro repetições, totalizando 28 unidades experimentais. Os tratamentos foram constituídos por três forrageiras: *Brachiaria brizantha*, *Panicum maximum* cv. *Mombaça* e *Crotalária spectabilis* consorciadas com o milho em duas épocas de semeadura das forrageiras, na entrelinha do milho simultâneo a semeadura (época 1 - E1) e na entrelinha do milho no estágio V4 do milho (época 2 - E2), além da testemunha.

Resultados e Discussões

Encontra-se, na Tabela 10, o resumo da análise de variância para os atributos físicos do solo antes da implantação da cultura do milho, os tratamentos que não apresentaram diferença significativa foram eliminados, pois partiu desta informação de que, em relação a estas variáveis, o solo era homogêneo, portanto, não iriam causar efeito nos tratamentos. Os atributos físicos do solo eliminados foram: macroporosidade (0-0,15m), microporosidade (0,15-0,30m), porosidade total (0-0,15m), porosidade total (0,15-0,30m), densidade do solo (0-0,15m), densidade do solo (0,15-0,30m), resistência do solo (0-0,15m) e resistência do solo (0,15-0,30m).

Tabela 10- Análise de variância para os atributos físicos do solo

FV	SQ	GL	QM	F	p
Umidade do Solo (0,00-0,15 m)					
Tratamento	113,625	3	37,875	3,486	0,020
Resíduos	825,680	76	10,864		
Total	939,306	79			
Umidade do Solo (0,15-0,30 m)					
Tratamento	73,665	3	24,555	3,098	0,032
Resíduos	602,308	76	7,925		
Total	675,973	79			
Macroporosidade (0,00-0,15 m)					
Tratamento	0,022	3	0,007	1,948	0,129
Resíduos	0,287	76	0,004		
Total	0,309	79			
Macroporosidade (0,15 -0,30 m)					
Tratamento	0,026	3	0,009	6,080	0,001
Resíduos	0,109	76	0,001		
Total	0,136	79			
Microporosidade (0,00-0,15 m)					
Tratamento	0,011	3	0,004	3,258	0,026
Resíduos	0,082	76	0,001		
Total	0,093	79			
Microporosidade (0,15-0,30 m)					
Tratamento	0,007	3	0,002	1,187	0,321
Resíduos	0,147	76	0,002		
Total	0,153	79			
Porosidade Total (0,00-0,15 m)					
Tratamento	0,002	3	0,001	0,220	0,882
Resíduos	0,251	76	0,003		
Total	0,253	79			
Porosidade Total (0,15 -0,30 m)					
Tratamento	0,002	3	0,001	0,269	0,848
Resíduos	0,197	76	0,003		
Total	0,199	79			
Densidade do Solo (0,00-0,15 m)					
Tratamento	0,006	3	0,002	0,279	0,840
Resíduos	0,545	76	0,007		
Total	0,551	79			
Densidade do Solo (0,15-0,30 m)					
Tratamento	0,004	3	0,001	0,166	0,919
Resíduos	0,555	76	0,007		
Total	0,559	79			
Resistência Mecânica do Solo à Penetração (0,00- 0,15 m)					
Tratamento	0,119	3	0,040	0,600	0,617
Resíduos	5,012	76	0,066		
Total	5,131	79			
Resistência Mecânica do Solo à Penetração (0,15-0,30 m)					
Tratamento	0,526	3	0,175	1,034	0,382
Resíduos	12,877	76	0,169		
Total	13,403	79			

Legenda: SQ: soma dos quadrados, GL: grau de liberdade, QM: quadrado médio, F: teste F, p- valor p,

* Foi realizado o Teste de Tukey a 5%.

Conforme observados por Harrell *et al.* (1996) e Babyak (2004), a inclusão de variáveis que não sejam capazes de influenciar a variável dependente, mesmo que, não apresentem problemas de multicolinearidade com as demais variáveis independentes, podem levar a problemas de *overfitting*. Tal fenômeno consiste em um modelo estatístico se ajusta muito bem ao conjunto de dados anteriormente observado, mas se mostra ineficaz para prever novos resultados, devendo ser evitadas. Desta forma, não faz sentido estas variáveis na análise, como já foram observados em outros trabalhos (SIQUEIRA *et al.*, 2008, OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2010, NASCIMENTO *et al.*, 2014). Com base na análise da correlação (Tabela 11), eliminaram-se as que não tinham correlação significativa com a produção por hectare, entre elas, umidade dos grãos, macroporosidade (0,15-0,30m), microporosidade (0,0-0,15m) e diâmetro de colmo.

A umidade dos grãos, umidade do solo nas duas profundidades, macroporosidade (0,15-0,30m) e microporosidade (0,00-0,15m) correlacionaram-se negativamente com a produção por hectare; no entanto, as demais variáveis apresentaram correlação positiva.

Tabela 11 - Correlação de Pearson entre as variáveis

Variáveis	Produção por hectares	
	Correlação de Pearson	<i>p</i>
Componentes produtivos do milho		
Produção por hectares	1	-
Plantas por hectares	0,519**	0,000
Peso de 100 sementes	0,415**	0,000
Matéria Seca Total	0,450**	0,000
Umidade dos Grãos	-0,065 ^{ns}	0,568
Atributos do solo		
Umidade do Solo (0,00-0,15 m)	-0,318**	0,004
Umidade do Solo (0,15-0,30 m)	-0,406**	0,000
Macroporosidade (0,15-0,30 m)	-0,104 ^{ns}	0,357
Microporosidade (0,00-0,15 m)	-0,140 ^{ns}	0,214
Componentes morfológicos do milho		
Altura da 1ª Espiga	0,227*	0,043
Altura de Planta	0,373**	0,001
Número de Grãos por fileira	0,534**	0,000
Número de Fileiras	0,458**	0,000
Emergência	0,362**	0,001
Diâmetro de Colmo	0,085 ^{ns}	0,452
Espigas por hectares	0,590**	0,000

Legenda: n - 80 amostras. ** A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades). * A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades). NS (Não Significativo)

O coeficiente de correlação Pearson varia de 1 a -1, quanto mais próximo de 1, independente do sinal, maior é o grau de dependência estatística linear entre as variáveis, assim, constatou-se que, as variáveis plantas por hectares, número de grãos por fileira e número de espigas por hectares foram as variáveis que se correlacionaram com a produção por hectares, embora essas variáveis tenha se correlacionado com a produção, as mesmas apresentaram uma correlação baixa (Tabela 10). Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que, no âmbito agrícola, diversos fatores são de difícil controle, como chuva, condições físicas, químicas e biológicas do solo.

Vian *et al.* (2016) concluíram que a produtividade de grãos apresenta elevada variabilidade espacial e temporal, condicionada por aspectos relacionados ao estabelecimento e desenvolvimento da cultura e ainda ressaltaram que o componente que melhor se correlacionou com a produtividade da cultura do milho em área irrigada foi o número de espigas por área.

A umidade dos grãos, umidade do solo nas duas profundidades, macroporosidade (0,15-0,30 m) e microporosidade (0,00-0,15 m) correlacionaram-se negativamente com a produção por hectare; no entanto, as demais variáveis apresentaram correlação positiva (Tabela 10).

Constatou-se que as variáveis plantas por hectare, número de grãos por fileira e número de espigas por hectares foram as variáveis que se correlacionaram com a produção por hectare. Embora essas variáveis tenham se correlacionado com a produção, elas apresentaram uma correlação fraca, o que pode ser explicado pelo fato de se tratar de experimentos agrícolas que possuem pouco controle experimental de fatores, como a chuva, as condições físicas, químicas e biológicas do solo, além de todos estes fatores serem variáveis com o tempo e com as condições intempéricas (Tabela 10).

Para a realização da regressão linear múltipla, foi feita uma prévia onde se observou os pressupostos, constatando-se que alguns destes foram violados. Por esta razão, foi realizada uma transformação em cada variável por meio da função logarítmica de base dez.

A regressão linear múltipla com seleção de variáveis pelo *stepwise*, que é uma ferramenta automática usada nos estágios exploratórios da construção de modelos para identificar um subconjunto útil de preditores, foi utilizada para obter um modelo parcimonioso que permitisse prever a produção por hectare em função das variáveis

independentes (espigas por hectare, número de grão por fileira, massa dos 100 grãos e número de fileiras).

Analisaram-se os pressupostos do modelo nomeadamente à ausência de autocorrelação serial entre os resíduos, multicolinearidade entre as variáveis independentes, normalidade dos resíduos, homoscedasticidade dos resíduos e a linearidade dos coeficientes.

O primeiro pressuposto foi validado com a estatística de Durbin-Watson ($d=1,887$), utilizou-se o VIF para diagnóstico a multicolinearidade, todas as variáveis ficaram no nível aceitável ($1,011 \leq VIF \leq 1,412$), a normalidade dos resíduos foi validada pelos testes Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk (TABELA 12) ambos não rejeitaram a hipótese nula. Por fim, a homoscedasticidade também foi verificada (Figura 9) conforme Mâroco e Pinheiro (2014).

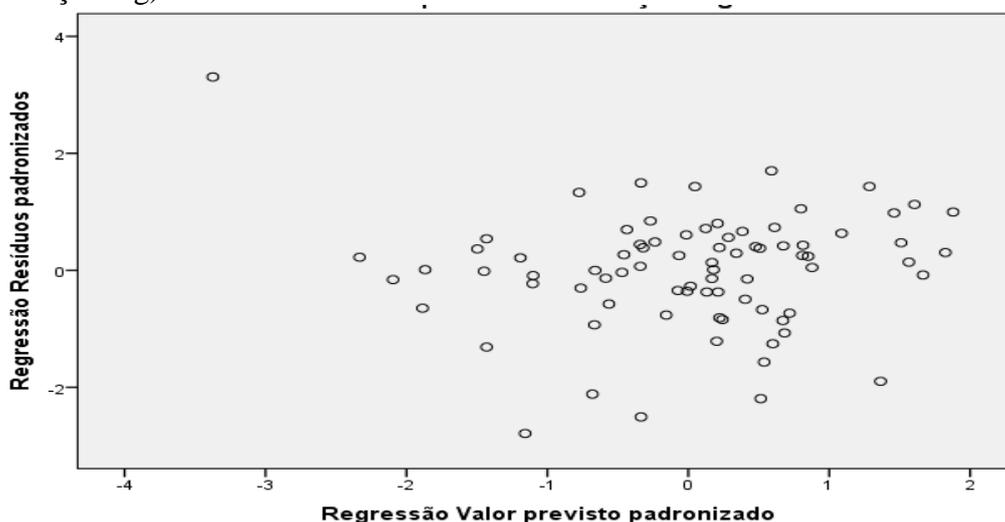
A linearidade dos coeficientes é garantida pelo modelo adotado, método dos mínimos quadrados (CORRAR *et al.*, 2012). O tamanho da amostra estava dentro do desejável, com 20 observações para cada variável independente, totalizando 80 observações (HAIR *et al.*, 2012).

Tabela 12 - Teste de normalidade dos resíduos

Teste	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estatística	dF	Sig.	Estatística	dF	Sig.
Standardized residual	0,102	80	0,038	0,959	80	0,012

Legenda: a - Correlação significância de Lilliefors; df - Diferença significativa; sig – Significância

Figura 13 - Gráfico de dispersão para a homoscedasticidade (variável dependente - Produção log)



A regressão linear múltipla permitiu identificar as variáveis Log(espigas por hectare), Log(número de grão por fileira), Log(massa dos 100 grãos) e Log(número de fileiras) como preditores significativos da Log(produção por hectare) conforme Tabela 13. Este modelo é altamente significativo e explica uma proporção elevada da variação da Log (produção por hectare) (Tabela14), neste experimento, a altura de planta não entrou no modelo, os mesmos resultados foram encontrados por Mourtzinis *et al.* (2013), onde a altura da planta não foi incluído com preditor significativo. Já Kappes *et al.* (2017) não observou correlação entre altura de planta e a produtividade dos grãos.

Tabela 13 - Coeficientes para a variável dependente Log (produção por hectare)

Modelo	Coeficientes não padronizados		Coeficientes padronizados	T	p
	Beta	Erro Padrão	Beta		
(Constante)	-4,866	0,085		-57,485	0,000
Log (Espigas por Hectares)	1,009	0,015	0,672	69,474	0,000
Log (Numero de Grãos por fileira)	0,979	0,022	0,499	43,649	0,000
Log (Massa dos100 Grãos)	0,943	0,023	0,394	40,884	0,000
Log (Numero de Fileiras)	0,940	0,046	0,235	20,598	0,000

Legenda: a - Variável Dependente: Log(Produção Por Hectare); t -Teste de Wald; p - Significância.

Tabela 14 - Resumo do modelo para a variável dependente produção por hectare

Estatísticas de mudança										
M	R	R ²	R ²⁺	EPE	AR ²	AF	d	df2	Sig. Alteração F	D-W
1	0,630 ^a	0,397	0,389	0,161	0,39	51,306	1	78	0,000	1,887
2	0,892 ^b	0,796	0,791	0,094	0,39	150,665	1	77	0,000	
3	0,977 ^c	0,954	0,952	0,045	0,15	259,497	1	76	0,000	
4	0,997 ^d	0,993	0,993	0,017	0,03	424,292	1	75	0,000	

Legenda: R²- Coeficiente de determinação, R²⁺- Coeficiente de determinação ajustado, EPE - Erro padrão de estimativa, AR²-Alteração de R², AF - Alteração de F, D-W -Durbin e Watson, a. Preditores (constante) - Log (espigas por hectare); b. Preditores (constante) - Log (espigas por hectare), Log (número de grãos por fileira); c. Preditores (constante) - Log (espigas por hectare), Log (número de fileira), Log (massa dos 100 grãos); d. Preditores (constante) - Log (espigas por hectare); Log número de grãos por fileira; Log (massa dos 100 grãos); Log (número de fileira); e. variável dependente - Log (produção por hectare)

O modelo final encontrado para o Log(produção por hectare)= -4,866+1,009Log(espigas por hectare)+0,979Log(número de grãos por fileira)+0,943 Log(massa dos 100 Grãos)+ 0,940Log(número de fileira). Se olharmos para os

coeficientes betas (Tabela 12) veremos a importância de cada um na produção, na seguinte ordem decrescente: Log(Espigas por Hectares), Log(Número de Grãos por Fileira), Log(Massa dos 100 Grãos) e Log(Número de Fileiras). Isto implica que número de espigas por hectare tem um impacto muito forte na produção.

O incremento na produtividade de grãos decorrente do aumento da população que pode ser explicado pelo ajuste que há no desenvolvimento da planta em função da densidade populacional. Assim, de maneira geral, em baixas densidades, a produção individual por planta é alta, mas a produtividade por área é pequena verificados por Borghi *et al.* (2004) e Vian *et al.* (2016) que encontraram que o componente que melhor se correlacionou com a produtividade da cultura do milho em área irrigada, com adequada uniformidade espacial de plantas, foi o número de espigas por área.

Estas variáveis explicam cerca de 0,98 da variabilidade da produção, estando de acordo com: Vian *et al.* (2016) que relataram que na safra 2011/2012, o coeficiente de determinação dos componentes de produtividade explicou 0,90 da variação na produtividade de grãos.

O número de espigas por área, peso dos 100 grãos, número de grãos por espiga e número grãos por fileira apresentaram efeito direto na produtividade, com correlações classificadas como altas (0,65 e 0,54 para as duas primeiras variáveis) e baixas (de 0,26 e 0,23 para as duas últimas), respectivamente.

Para as outras variáveis que não foram incluídas, como os atributos físicos do solo e as restantes das componentes agronômicas, é possível, neste experimento, que as outras variáveis tenham um impacto maior no modelo de regressão final, fato justificado por Mourtzinis *et al.* (2013).

Aplicando as propriedades dos logaritmos na regressão múltipla foi encontrada a seguinte expressão: $\text{Log (PH)} = -0,4866 + 1,009\text{Log (EH)} + 0,979\text{Log(NGF)} + 0,943\text{ (M100G)} + 0,940\text{L}$, assim temos, $\text{PH}^* = 13,6 \times 10^{-6} \times (\text{EH})^{1,009} \times (\text{NGF})^{0,979} \times (\text{NF})^{0,940} \times (\text{M100G})^{0,943}$, em que: PH=Produção por Hectare (kg ha⁻¹); EH=Espigas por Hectare (espiga ha⁻¹); NGF=Número de grãos por fileira por espiga (g); M100G= Massa dos 100 grãos (g) e NF= Número de Fileira por espiga.

Existem alguns métodos para a estimação da produtividade, entre eles, Reetz (1987) e o método da Emater - MG (2000), na qual os mesmos já contemplavam parte das variáveis encontradas no modelo acima. Já, Bernardon (2005) usa um modelo com parte destas variáveis, em seu trabalho e não tem referência do

surgimento deste modelo, porém, nestes três casos não existe uma argumentação matemática mostrando a construção destes modelos.

Para cada região, a regressão múltipla deve ser testada para adaptar as constantes devido às alterações que possam ocorrer nas médias destas variáveis devidos a fatores genéticos ou ambientais, como verificada por Vázquez *et al.* (2012), Menezes *et al.*(2015) e Bu *et al.* (2013). Estes métodos para estimar a produtividade são mais práticos e econômicos para o produtor, comparados com os métodos utilizados por Holzman *et al.* (2014) e Li *et al.* (2014).

A calibração se fez resolvendo um sistema linear nas incógnitas A, B,C,D e E, utilizando a equação: $\text{Log(PH)} = A + B.\text{Log(EH)} + C.\text{Log(NGF)} + D.\text{Log(M100G)} + E.\text{Log(NF)}$, usando dados anteriores ou montando antes projetos pilotos, de onde obtêm-se, os valores Log(PH) , Log(EH) , Log(NGF) , Log(M100G) e Log(NF) , assim monta-se um sistema linear nas incógnitas A, B, C, D e E. O passo seguinte foi verificar por meio do modelo a estimativa da produtividade com aproximação do real, para isto foram utilizados dados dos experimentos realizado por (SANTOS *et al.*, 2017), conforme descrito na Tabela 15, os dados apresentaram uma distribuição normais.

Tabela 15 - Teste de normalidade para a estimação da produtividade (kg ha^{-1})*

Tratamentos	Shapiro-Wilk		
	Estatística	df	Sig.
Real-ME2	0,825	4	0,156
Estimado-ME2	0,802	4	0,105
Real-BE1	0,896	4	0,409
Estimado-BE1	0,976	4	0,878
Real-ME1	0,998	4	0,992
Estimado-ME1	0,889	4	0,379
Real-CE1	0,886	4	0,365
Estimado-CE1	0,773	4	0,061
Real-BE2	0,971	4	0,850
Estimado-BE2	0,922	4	0,549
Real-CE2	0,985	4	0,929
Estimado-CE2	0,939	4	0,648
Real-T	0,777	4	0,067
Estimado-T	0,961	4	0,783

Legenda: * Santos et al. (2017), BE1 - *Brachiaria* em consórcio com o milho, semeada no mesmo dia do milho, BE2 - *Brachiaria* em consórcio com o milho semeada em estágio V4 do milho, ME1 - *Mombaça* em consórcio com o milho, semeada no mesmo dia do milho, ME2 - *Mombaça* em consórcio com o milho semeada em estágio V4 do milho, CE1 - *Crotalaria* em consórcio com o milho, semeada no mesmo dia do milho, CE2 - *Crotalaria* em consórcio com o milho semeada em estágio V4 do milho, T - Milho sem consórcio, testemunha.

Nicolau (2015) também realizou pesquisa semelhante na mesma área experimental ao qual o presente trabalho foi conduzido. Para o teste de normalidade foi utilizado Shapiro-Wilk por ter menos de 30 amostras (MÂROCO; PINHEIRO, 2014). Os dados estimados e os reais todos atingiram a normalidade, em seguida, o teste-t emparelhado, foi o mais aconselhado neste caso conforme Mâroco e Pinheiro (2014) e estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Teste de normalidade para a estimação da produtividade (kg ha⁻¹)**

Tratamentos	Shapiro-Wilk*		
	Estatística	df	Sig.
Real-M1-C1	0,960	4	0,780
Estimativa-M1-C1	0,933	4	0,610
Real - M1-C2	0,948	4	0,705
Estimado- M1-C2	0,907	4	0,469
Real-M1-C3	0,910	4	0,483
Estimado-M1-C3	0,918	4	0,525
Real-T1	0,960	4	0,777
Estimado-T1	0,802	4	0,106
Real-M2-C1	0,883	4	0,352
Estimado-M2-C1	0,927	4	0,578
Real-M2-C2	0,936	4	0,630
Estimado-M2-C2	0,940	4	0,653
Real-M2-C3	0,954	4	0,744
Estimado-M2-C3	0,938	4	0,644
Real-T2	0,957	4	0,762
Estimado-T2	0,994	4	0,977

Legenda: ** Nicolau (2015), M1- mecanismo disco; M2 - mecanismo haste; C1 - Cobertura com Crotalária; C2 - Cobertura com capim mombaça; C3 - Cobertura com sorgo; T1- milho em solo nu com disco, T2 - milho em solo nu com haste.

O modelo estimou bem a produtividade, independente da forma da coleta dos dados e do manejo (Tabela 17), apesar de, no par 14 (*Crotalária* em consórcio com o milho semeado em estágio V4 do milho), observou-se a ocorrência de diferença significativa das médias, isto pode ser contornado com a calibração do modelo (Tabela 17). Santos *et al.* (2017) verificaram que entre o milho consorciado e o milho solteiro, verificou-se que independente da configuração do consórcio e época de semeadura, não ocorrem modificações nas características fitotécnicas do milho, nem tampouco diminuição na produtividade.

Os dados da modelagem e os dados CE2 obtidos por Santos et al. (2017) quando comparados com as variáveis utilizadas no modelo, verificaram que as variáveis EH e MCG, apresentaram diferenças na média (Tabela 18) justificando

assim sua maior produtividade, porém, ambos os dados apresentaram igualdade de variância pelo Teste de Levene.

Tabela 17 - Média para a comparação da produtividade (kg ha^{-1}) entre os pares

FV	Média comparada	Média real	Média estimada	t	Gl	Sig
Par 1	Real-M1-C1 x Estimado-M1-C1	6260,20	7717,45	-1,23	3	0,31
Par 2	Real-M1-C2 x Estimado-M1-C2	3612,75	4178,22	-0,65	3	0,56
Par 3	Real-M1-C3 x Estimado-M1-C3	5722,78	6599,96	-0,92	3	0,43
Par 4	Real-T1 x Estimado-T1	6413,88	9202,60	-1,22	3	0,31
Par 5	Real-M2-C1 x Estimado-M1-C1	5903,25	7381,82	-1,28	3	0,29
Par 6	Real-M2-C2 x Estimado-M2-C2	3636,58	6826,23	-2,73	3	0,07
Par 7	Real-M2-C3 x Estimado-M2-C3	4998,28	5986,32	-1,26	3	0,30
Par 8	Real-T2 x Estimado-T2	4344,73	6669,28	-1,53	3	0,22
Par 9	Real-BE1 X Estimado-BE1	6475,56	6808,77	-0,47	3	0,67
Par 10	Real-ME1 X Estimado-ME1	6286,63	6534,95	-0,19	3	0,86
Par 11	Real-CE1 X Estimado-CE1	6925,75	8052,85	-1,65	3	0,20
Par 12	Real-BE2X Estimado-BE2	6709,08	6177,50	0,389	3	0,72
Par 13	Real-ME2X Estimado-ME2	6069,07	6242,46	-0,21	3	0,85
Par 14	Real-CE2X Estimado-CE2	7862,39	5583,04	7,5	3	0,01
Par 15	Real-T X Estimado-T	6942,94	6888,41	0,051	3	0,96

Legenda: FV - fonte de variação; BE1 - Brachiaria em consórcio com o milho, semeada no mesmo dia do milho; BE2 - Brachiaria em consórcio com o milho semeada em estágio V4 do milho; ME1 - Mombaça em consórcio com o milho, semeada no mesmo dia do milho; ME2 - Mombaça em consórcio com o milho semeada em estágio V4 do milho; CE1 - Crotalaria em consórcio com o milho, semeada no mesmo dia do milho; CE2 - Crotalaria em consórcio com o milho semeada em estágio V4 do milho; T - Milho sem consórcio, testemunha; M1- mecanismo disco; M2 - mecanismo haste; C1 - Cobertura com Crotalaria; C2 - Cobertura com capim mombaça; C3 - Cobertura com sorgo; T1- milho em solo nu com disco; T2 - milho em solo nu com haste; t - Teste T emparelhado a 5%.

Tabela 18 - Resultado da modelagem para a produtividade*

Variável	Média da Modelagem	Média CE2	t*	Gl	Sig
MCG	28,55	38,67250	-3,748	82	0,000
EH	30638,90	50625,00	-4,276	82	0,000

Legenda: * Santos et al. (2017); MCG - massa dos 100 grãos; EH - espiga por hectare; teste-t para igualdade de médias (teste de Wald).

Conclusões

As variáveis, pela ordem de impacto na produtividade, são: umidade do solo (US), EH (espigas por hectare), NGF (número de grãos por fileira), MCG (massa dos 100 grãos) e NF (número de fileiras), são as variáveis que melhor explicam a produtividade do milho.

REFERÊNCIAS

- BABYAK, M. A. What you see may not be what you get: a brief, nontechnical introduction to overfitting in regression-type models. **Psychosom Medicine**, n.66, n.3, p.411-421, 2004.
- BORGHI, É.; MELLO, L. M. M.; CRUSCIOL, C. A. C. Adubação por área e por planta, densidade populacional e desenvolvimento do milho em função do sistema de manejo do solo. **Acta Scientiarum**, v.26, n.3, p.337-345, 2004.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 395p.
- DEMÉTRIO, C. S.; FORNASIERI FILHO, D.; CAZETTA, J. O.; CAZETTA, D. A. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, n.12, p.1691-1697, 2008.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2013. 353p.
- FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P.; SILVA, F. L. da; CHAN, B. L. **Análise de dados: modelagem multivariada para a tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. 646p.
- GILO, E.G.; SILVA JUNIOR, C. A.; TORRES, F. E.; NASCIMENTO, E. S. E LOURENÇÃO, A. S. Comportamento de híbridos de milho no Cerrado Sul-Mato-Grossense, sob diferentes espaçamentos entre linhas. **Bioscience Journal**, v.27, n. 6, p. 908-914, 2011.
- GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria básica**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 920 p.
- HAIR JUNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009, 688p.
- HARRELL, F. E.; LEE, K. L.; MARK, D. B. Multivariable prognostic models: Issues in developing models, evaluating assumptions and adequacy, and measuring and reducing errors. **Statistic in Medicine**, v.15, n.4, p.361-387, 1996.
- HILLEL, D. Internal drainage and redistribution following infiltration. **In: HILLEL, D. (Ed.). Applications of soil physics**. New York : Academic, 1980. p.50-72.

KAPPES, C.; SILVA, R. G.; FERREIRA, V. E. M. Aplicação foliar de Azospirillum brasilense e doses de nitrogênio em cobertura no milho safrinha. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n.3, p.366-373, 2017.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.2, p.176-77, 1962.

MARÔCO, J.; PINHEIRO, P. **Análise Estatística com o SPSS Statistic**. 6. Ed. Portugal, Report Number. 2014.

MENEZES, M. O. T.; TAYLOR, N. P.; ZAPPI, D. C.; LOIOLA, M. I. B.S pines and ribs of Pilosocereus arrabidae (Lem.) Byles & G.D. Rowley and allies (cactaceae): Ecologic or genetic traits? **Flora**, v.214, n.1, p. 44-49, 2015.

MINGOTI, S.A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada - uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora: UFMG, 2005. 295p.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade - 4ª Ed.** Rio de Janeiro: LTC, 2004.

MOURTZINIS, S.; ARRIAGA, F. J.; BALKCOM, K. S.; ORTIZ, B.V. Corn Grain and Stover Yield Prediction at R1 Growth Stage. **Agronomy Journal**, v.105, n.4, p.1045-1050, 2013.

NASCIMENTO, P. dos S.; SILVA, J. A.; COSTA, B. R. S.; BASSOI, L. H. Zonas homogêneas de atributos do solo para o manejo de irrigação em pomar de videira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.4, p.1101-1113, 2014.

NICOLAU, F. E. de A. **Desempenho energético e operacional do conjunto trator-semeadora em função de coberturas do solo e mecanismos sulcadores**: atributos físicos do solo e componentes de produtividade. 2016. 102 f. Dissertação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

OLIVEIRA JUNIOR, J. C. de; SOUZA, L. C. de P.; MELO, V. de F. Variabilidade de atributos físicos e químicos de solos da formação guabirotuba em diferentes unidades de amostragem. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.34, n.5, p.1491-1502, 2010.

REETZ, H. Here'show to estimate yields for corn and soybeans before harvest. **Better Crops With Plant Food**, v.7, n.1, p.18-19, 1987.

SANTOS, P. R. A. dos. **Consórcio de milho com forrageiras**: atributos físicos do solo e produtividade. 2016. 84 f.: Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, CE, 2016.

SANTOS, P. R. A. DOS; CHIODEROLI, C. A.; LOUREIRO, D. R.; NICOLAU, F. E. DE A.; OLIVEIRA, J. L. P. de; QUEIROZ, R. F. de. Características morfológicas e produtivas do milho no consórcio com forrageiras em diferentes épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, n.7, p.2031-2039, 2017.

SELEME, R.; STADLER, H. Controle da qualidade: as ferramentas essenciais. Curitiba: Ibpx, 2008. 181 p.

SILVA, D. A., VITORINO, A. C. T., SOUZA, L. C. F., GONÇALVES, M. C. E ROSCOE, R. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na cultura do milho, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.1, p.75-88, 2006.

SIQUEIRA, G. M.; VIEIRA, S. R.; CEDDIA, M. B. Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. **Bragantia**, v.67, n.1, p.203-211, 2008.

STACCIARINI, T. de C. V.; CASTRO, P. H. C.; BORGES, M. A.; GUERIN, H. F.; MORAES, P. A. C.; GOTARDO, M. Avaliação de caracteres agronômicos da cultura do milho mediante a redução do espaçamento entre linhas e aumento da densidade populacional. **Revista Ceres**, v.57, n.4, p.516-519, 2010.

VÁZQUEZ, M. L. P. V.; MARTÍNEZ, J. S. M.; ILDEFONSO, R. L.; GUERRERO, A. P. La colección INIFAP de frijolayocote (*Phaseolus coccineus* L.) I: Distribución geográfica de sitios de colecta. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v.3, n.6, p.1247-1259, 2012.

VIAN, A. L.; SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; MAURÍCIO ROBERTO 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.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo encontrado foi $PH = 13,6 \times 10^{-6} \times (EH)^{1,009} \times (NGF)^{0,979} \times (NF)^{0,940} \times (M100G)^{0,943}$, em que: PH=Produção por Hectare;EH=Espigas por Hectare;NGF=Número de grãos por fileira por espiga;M100G= Massa dos 100 grãos e NF= Número de Fileira por espiga.

Sua calibração se fez resolvendo um sistema linear nas incógnitas A,B,C,D e E, utilizando a equação: $\text{Log}(PH) = A + B \cdot \text{Log}(EH) + C \cdot \text{Log}(NGF) + D \cdot \text{Log}(M100g) + E \cdot \text{Log}(NF)$, utilizando dados anteriores ou montando antes projetos pilotos, de onde se obtêm os valores $\text{Log}(PH)$, $\text{Log}(EH)$, $\text{Log}(NGF)$ e $\text{Log}(NF)$ e $\text{Log}(NF)$, assim, monta-se um sistema linear.

A variável modelo explica 90% da variabilidade da produtividade. O modelo conseguiu estimar a média da produtividade, sem diferença significativa com a média real, em 93% dos casos.

O modelo se mostrou eficaz, necessitando de calibração em todos os casos, devido a possíveis alterações que as variáveis possam sofrer independente do manejo e fatores ambientais.

REFERÊNCIAS

ABIMILHO - Associação Brasileira das Industrias do Milho. O Cereal que enriquece a alimentação humana. Disponível em: <<http://www.abimilho.com.br/milho/cereal>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I. **Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables**. National Bureau of Standards dos EUA, 1964.

AGRAMA, H. A.S. Sequential path analysis of grain yield and its components in maize. **Plant Breeding**, v.15, n.5, p.343-346, 1996.

ALBUQUERQUE, A. W.; SANTOS, J. R.; MOURA FILHO, G.; REIS, L. S. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.7, p. 721-726, 2013.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; VON PINHO, R. G.; SILVA, R. Produtividade de híbridos de milho verde experimentais e comerciais. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 2, p. 69-76, 2008.

ALDERFASI, A. A.; SELIM, M. M.; ALHAMMAD, B. A. Evaluation of plant densities and various irrigation regimes of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) under low water supply. **Journal of Water Resource and Protection**, v.8, n.1, p.1-8, 2016.

ALMEIDA, M. L.; MEROTTO JUNIOR, A.; SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A. F. Incremento na densidade de plantas: uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. **Ciência Rural**, v.30, n.1, p. 23-29, 2000.

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, p. 25-36, 2001.

ALVAREZ, C. G. D.; VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D. Avaliação de características agronômicas e de produção de forragem e grãos de milho em diferentes densidades de semeadura e espaçamentos entre linhas. **Revista Ciência Agrotécnica**, v.30, n.3, p. 402-408, 2006.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 241-248, 2002.

AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R.; LANZANOVA, M.; SANTI, A. L.; LOVATO, T. A compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, n.89, n.1, p.34-42, 2005.

AMADO, T. J. C.; PONTELLI, C. B.; SANTI, A. L.; VIANA, J. H. M.; SULZBACH, L. A. S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n.8, p.1101-1110, 2007.

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 n.4, p. 831-843, 2009.

AMARAL FILHO, J. P. R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 03, p. 467-473, 2005.

AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. **Física do Solo: Conceitos e Aplicações**. 1. ed. Fortaleza: UFC, 2008. 290p.

ARAÚJO, E. C. de.; URIBE-OPAZO, M. A.; JONHANN, J. A. Análise de agrupamento da variabilidade espacial da produtividade da soja e variáveis agrometeorológicas na região Oeste do Paraná. **Engenharia Agrícola**, v.33, n.4, p.782-795, 2013.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1099-1108, 2007.

ARCOVERDE, S. N. S. **Qualidade de solos sob diferentes usos agrícolas na região do entorno do lago de Sobradinho**. 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Vale do São Francisco, 71f.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; SANGOI, L. 2001. Arranjo de plantas em milho: análise do estado da arte. **Ciência Rural**, v.31, n.1, p.1075-1084, 2001.

ASSIS, J. P.; DOURADO NETO, D.; NASS, L. L.; MANFRON, P. A.; BONNECARRÈRE, R. A. G.; MARTIN, T. N. Simulação estocástica de atributos do clima e da produtividade potencial de milho utilizando-se distribuição triangular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.3, p.539-543, 2006.

BABYAK, M. A. What you see may not be what you get: a brief, nontechnical introduction to overfitting in regression-type models. **Psychosom Medicine**, n.66, n.3, p.411-421, 2004.

BALBINOT JÚNIOR, A. A.; BACKES, R. L.; ALVES, A. C.; OGLIARI, J. B.; FONSECA, J. A. da Contribuição de componentes de rendimento na produtividade de grãos em variedades de polinização aberta de milho. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.11, n.2, p.161-166, 2005.

BEEBE, K. R.; PELL, R. J.; SEASHOLT, M. B. **Chemometrics: A practical guide**. New York, John Wiley & Sons, 1998. 348p.

BERNARDON, T. **Componentes da produtividade de grãos de milho (*Zea mays L*) visando obter parâmetros para a agricultura de precisão**. 2005. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 95p.

BONETTI, L. P.; VIDIGAL, M. C. G.; SCHULTER, A. R.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONELA, A.; LACANALLO, G. F. Divergência genética em germoplasma de feijoeiro comum coletado no estado do Paraná, Brasil. **Semina**, v.27, n.4, p.547-560, 2006.

BORGHI, E.; COSTA, N. V.; CRUSCIOL, C. A. C.; MATEUS, G. P. Influência da distribuição espacial do milho e da *Brachiaria brizantia* consorciados sobre a população de plantas daninhas em sistema plantio direto na palha. **Planta daninha** v.26, n.3, p.559-568, 2008.

BORGHI, É.; MELLO, L. M. M.; CRUSCIOL, C. A. C. Adubação por área e por planta, densidade populacional e desenvolvimento do milho em função do sistema de manejo do solo. **Acta Scientiarum**, v.26, n.3, p.337-345, 2004.

BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. P. L. F.; LUDEMIR, T. B. **Redes neurais artificiais: teoria e aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 250 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 395p.

BRITO, C. F. B.; FONSECA, V. A.; BEBÉ, F. V.; SANTOS, L. G. Desenvolvimento inicial do milho submetido a doses de esterco bovino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n.3, p.244-250, 2014.

BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; CAMP, C.R.; SOJKA, R. E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. **Soil Tillage Research**, v.43, n.43, p. 205-217, 1997.

CALONEGO, J. C.; POLETO, L. C.; DOMINGUES, F. N.; TIRITAN, C. S. Produtividade e crescimento de milho em diferentes arranjos de plantas. **Agrarian**, v.4, n.12, p.84-90, 2011.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, São Paulo, p.132, 1997.

CANARACHE, A. PENETR - a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil Tillage Research**, v.16, n.1-2, p.51-70, 1990.

CANCELLIER, L. L.; AFFÉRI, F. S.; CARVALHO, E. V. de, DOTTO, M. A.; LEÃO, F. F. Eficiência no uso de nitrogênio e correlação fenotípica em populações tropicais de milho no Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.1, p. 139-148, 2011.

CARDOSO, D. P.; SILVA, M. L. N.; CARVALHO, G. J. de; FREITAS, D. A. F. de; AVANZI, J. C. Espécies de plantas de cobertura no condicionamento químico e físico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, n.3, p.375-382, 2013.

CARDOSO, W. S.; PAES, M. C. D.; GALVÃO, J. C. C.; RIOS, S. A.; GUIMARÃES, P. E. O.; SCHAFFERT, R. E.; BORÉM, A. Variabilidade de genótipos de milho quanto à composição de carotenóides nos grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.2, p.164-173, 2009.

CARGNELUTTI FILHO, A.; NERINÉIA, L. S.; RIBEIRO, D. Agrupamento de cultivares de feijão em presença e em ausência de multicolinearidade. **Ciência Rural**, v.39, n.9, p.2409-2418, 2009.

CARGNELUTTI FILHO, A.; RIBEIRO, D. N.; JOST, E. Número necessário de experimentos para a análise de agrupamento de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, v.39, n.2, p. 2009.

CARGNELUTTI FILHO, A.; RIBEIRO, D. N.; BURIN, C. Consistência do padrão de agrupamento de cultivares de feijão conforme medidas de dissimilaridade e métodos de agrupamento, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.3, p.236-243, 2010.

CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M.; BURIN, C.; SILVEIRA, T. R. da; CASAROTTO, G. Tamanho de amostra para estimação do coeficiente de correlação linear de Pearson entre caracteres de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.12, p.1363-1371, 2010.

CARGNELUTTI FILHO, A.; GUADAGNIN, J. P. Consistência do padrão de agrupamento de cultivares de milho, **Ciência Rural**, v.41, n.9, p.1503-1508, 2011.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. DE; REIS, E. F. DOS, PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.1, p.147-157, 2009.

CARVALHO, A. J. A.; SOUZA, E. H.; MARQUES, C. T. S.; GAMA, E. V. S.; NACIF, P. G. S. Caracterização física dos solos dos quintais agroflorestais e cultivos monotípicos na região de Amargosa. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.2, n.2, p.941-944, 2007.

CARVALHO, C. G. P.; BORSATO, R.; CRUZ, C. D. Path analysis and multicollinearity in soybean. **Breeding and Applied Biotechnology**, v.1, n.3, p.263-270, 2001.

CARVALHO, H. W. L. de ; CARDOSO, M. J.; LEAL, M. DE L. da S.; SANTOS, M. X. dos.; TABOSA, J. N.; SOUZA, E. M. de. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho no Nordeste brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.5, p.471-477, 2005.

CASTRO, C. N. A agricultura no Nordeste Brasileiro: Oportunidades e limitações ao desenvolvimento. **Boletim regional, urbano e ambiental**, 2013, 13p. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5592/1/BRU_n08_agricultura.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2016.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R. da.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.1, p.37-43, 2012.

COELHO, A. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. **Desafios para obtenção de altas produtividades**. Sete Lagoas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2004. 20p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2016/2017. Nono levantamento. Disponível em:<<<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 21 mai. 2017.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2015/2016. Décimo segundo levantamento. Disponível em:<<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 21 nov. 2016.

CONTE, O.; FLORES, J. P. C.; CASSOL, L. C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. DE F.; LEVIEN, R.; WESP, C. DE L. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1301-1309, 2011.

CORRAR, L. J.; EDILSON, P.; DIAS FILHO, J. M. **Análise Multivariada: Para concurso de Administração, ciências contábeis e economia**. FIPECARI- Fundação Instituição de Pesquisas Contábeis, Atuariais e Financeiras;1. ed. 4.reimpr. São Paulo: Atlas, 2012.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetados pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.3, p.527-535, 2003.

COSTA, L. C. Modelagem e simulação em agrometeorologia. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA**, 9., 2001, Santa Maria. Anais...Santa Maria: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p.75-82, 2001.

COSTA, M. N. da. **Análise dialética das capacidades geral e específica de combinação utilizando técnicas uni e multivariadas de divergência genética em mamoneira (*Ricinus communis L.*)**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Paraíba, 132f.

CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, E. Consórcio de milho com braquiária: produção de forragem e palhada para o plantio direto. **Revista Plantio Direto**, n.100, 2007.

CRUSCIOL, C. A. C.; MATEUS, G. P.; NASCENTE, A. S.; MARTINS, P. O.; BORGHI, E.; PARIZ, M. Na innovative crop-forage intercrops system: Early cycle soy bean cultivars and palisa degrass. **Agronomy Journal**, v.104, n.4, p.1085-1095, 2012.

CRUZ, C. D. **Aplicações de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. 1990. 188f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. Análise dialélica. **In.:** Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético. Ed. UFV. Viçosa. 2. ed. 1997. p.131-285.

CRUZ, C. D. **Algumas técnicas de análise multivariada no melhoramento de plantas**. 1987. 75 f. (Monografia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO P. C. S. 2003. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Editora UFV, Viçosa, 585 p.

CRUZ, D. L. S.; VALE JÚNIOR, J. F.; CRUZ, P. L. S.; CRUZ, A. B. S.; NASCIMENTO, P. P. R. R. Atributos físico-hídricos de um Argissolo amarelo sob floresta e savana naturais convertidas para pastagem em Roraima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.1, p. 307-314, 2014.

CRUZ, J. C.; FILHO, I. A. P.; ALVARENGA, R. M.; SANTANA, D. P. Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. **Informe Agropecuário**, v.22, n.208, p.13-24, 2001.

CRUZ, J. C.; PEREIRA, F. T. F.; PEREIRA FILHO, I. A.; OLIVEIRA, A. C.; MAGALHÃES, P. C. Resposta de cultivares de milho à variação em espaçamento e densidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.6, n.1, p.60-73, 2007.

DAS, P. K.; GUPTA, T. D. Multivariate analysis in blackgrain (*Vigna Mungo L*). **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, v.44, n.7, p.243-247, 1984.

DEMÉTRIO, C. S.; FORNASIERI FILHO, D.; CAZETTA, J. O.; CAZETTA, D. A. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, n.12, p.1691-1697, 2008.

DEPARIS, G. A.; LANA, M. DO C.; FRANDOLOSO, J. F. Espaçamento e adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura do milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.29, n.4, p.517-525, 2007.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. (Irrigation and drainage paper, 24). Mesquita Filho, 1998.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H.; BENTVELSEN, C. L. M.; BRANSCHIED, V.; PLUSJÉ, J.M.G.A.; SMITH, M.; UITTENBOGAARD, G.O.; VAN DER WAL, H. K. **Yield response to water**. (Irrigation and Drainage Paper, 33) Rome: FAO, 193p. 1979.

DUARTE, J. O.; CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C.; MATTO S, M. J. **Sistema de produção de milho e sorgo**. Sete Lagoas, 2006. Disponível em: <<https://www.cnpms.com.br>>. Acesso em: 16 jul. 2015.

ELIAS, H. T.; VIDIGAL, M. C. G.; GONELA, A.; VOGT, G. A. Variabilidade genética em germoplasma tradicional de feijão-preto em Santa Catarina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.10, p. 1443-1449, 2007.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2013. 353p.

FANCELLI, L. A.; DOURADO-NETO, D. **Produção de Milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Milho: estratégias de manejo para alta produtividade**. Piracicaba: ESALQ/USP/LPV, 2003.

FANTIN, N. A. M.; MEERT, L.; HANEL, A.; ALENCAR, J. R. C.; PETEAN, L. P. Componentes de produção e qualidade de sementeira de soja em função de diferentes velocidades do conjunto trator-semeadora. **Brazilian Journal of Applied Tecnology for Agricultural Science**, v.9, p.7-15, 2016.

FAO. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (2017). Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2017-09/fao-preve-producao-recorde-de-cereais-no-mundo-em-2017>>. Acesso em: 13 Ago. 2017.

FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D. Características agrônomicas e produtividade de cultivares de milho em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais. **Científica**, v. 40, n.1, p.21-27, 2012.

FAVARATO, L. F.; SOUZA, J. L.; GALVÃO, J. C. C.; SOUZA, C. M. de.; GUARCONI, R. C.; BALBINO, J. M. de S. Crescimento e produtividade do milho-verde sobre diferentes coberturas de solo no sistema plantio direto orgânico, **Bragantia**, v.75, n.4, p. 497-506, 2016.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P.; SILVA, F. L. da; CHAN, B. L. **Análise de dados: modelagem multivariada para a tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. 646p.

FEBRAPDP. Federação Brasileira de Plantio direto na Palha. Evolução do plantio direto no Brasil. 2012. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br/arquivos/EvolucaoAreaPDBr72A06.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2016.

FERREIRA, Daniel Furtado. **Estatística Multivariada**. 2. ed. Lavras: Ed. UFLA, Lavras, 2011.

- FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SCAPIM, C. A. Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.1 p.9-19, 2007.
- FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L. C.; CARVALHO, P. C. F.; LEITE, J. G. D. B.; FRAGA, T. I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 31, n.4, p. 771-780, 2007.
- FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; CATUCHI, T. A.; BELLEGGIA, N. A.; TIRITAN, C. S.; BARBOSA, A. M. Cultivares de milho em diferentes populações de plantas com espaçamento reduzido na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n.3, p. 312-325, 2014.
- FAO. Food and Agriculture Organization. Production: crops. 2012. Disponível em: <www.faostat.fao.org>. Acesso em: 29 mar. 2016.
- FORSTHOFER, E. L.; SILVA, P. R. F.; STRIEDER, M. L.; MINETTO, T.; RAMBO, L.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SUHRE, E.; SILVA, A. A. Desempenho agrônomico e econômico do milho em diferentes sistemas de manejo e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.3, p.399-407, 2006.
- FREDDI, O. da SILVA; FERRAUDO, A. S.; CENTURION, J. F. Análise multivariada na compactação de um latossolo vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.32, n.3, p.953-961, 2008.
- FUENTES, R. L.; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos diferentes sistemas de preparo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, n.2, p. 205-220, 2006.
- FUZATTO, S. R.; FERREIRA, D. F.; RAMALHO, M. A. P.; RIBEIRO, P. H. E. Divergência genética e sua relação com os cruzamentos dialélicos na cultura do milho. **Ciência e Agrotecnologia**, v.26, n.1, p. 22-32, 2002.
- GALVAO, J. C. C.; MIRANDA, G. V.; TROGELLO, E.; FRITSCHÉ-NETO, R. Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. **Revista Ceres**, v.61, n. suplementar, p.819-828, 2014.
- GERHARDT, E. T.; FINGER, C. A. G.; LONGHI, S. J.; SCHUMACHER, M. V. Contribuição da análise multivariada na classificação de sítios de povoamento de Araucária angustifolia, baseada nos fatores físicos e morfológicos do solo e no conteúdo de nutrientes da Serapilheira. **Ciência Florestal**, v.11, n.2, p. 41-57, 2001.
- GILO, E.G.; SILVA JUNIOR, C. A.; TORRES, F. E.; NASCIMENTO, E. S. E LOURENÇÃO, A. S. Comportamento de híbridos de milho no Cerrado Sul-Mato-Grossense, sob diferentes espaçamentos entre linhas. **Bioscience Journal**, v.27, n. 6, p. 908-914, 2011.

GIMENES, M. J.; FILHO, R. V.; PRADO, E. P.; POGETTO, M. H. F. A. D.; R. S. CHRISTOVAM. Interferência de espécies forrageiras em consórcio com a cultura do milho. **Revista da FZVA**, v.15, n.2, p.61-76. 2008.

GONÇALVES JÚNIOR, A. C.; TRAUTMANN, R. R.; MARENGONI, N. G.; RIBEIRO, O. L.; SANTOS, A. L. dos. Produtividade do milho em resposta a adubação com NPK e Zn em Argissolo Vermelho amarelo Eutrófico e Latossolo Vermelho Eutroférico. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.4, p.1231-1236, 2007.

GROBE, J. R. **Aplicações da estatística multivariada na análise de resultados em experimentos com solos e animais**. 2005. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, 145f.

GUERRA, A. F.; RODRIGUES, G. C.; ROCHA, O. C.; EVANGELISTA, W. **Necessidade hídrica no cultivo de feijão, trigo, milho e arroz sob irrigação no bioma Cerrado**. EMBRAPA - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 100, Planaltina/DF, 2004.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; NEVES, P. de C. F. Eficiência produtiva de cultivares de arroz com divergência fenotípica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.5, p 465-470, 2008.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria básica**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 920 p.

HAIR JUNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009, 688p.

HARRELL, F. E.; LEE, K. L.; MARK, D. B. Multivariable prognostic models: Issues in developing models, evaluating assumptions and adequacy, and measuring and reducing errors. **Statistic in Medicine**, v.15, n.4, p.361-387, 1996.

HILLEL, D. Internal drainage and redistribution following infiltration. **In: HILLEL, D. (Ed.). Applications of soil physics**. New York : Academic, 1980. p.50-72.

HOLZMAN, M.E.; RIVAS, R.; PICCOLO, M. C. Estimating soil moisture and the relationship with crop yield using surface temperature and vegetation index. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 28, n.1, p. 181-192, 2014.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J. W.; WILKENS, P. W.; PORTER, C. H.; BOOTE, K. J.; HUNT, L.A.; SINGH, U.; LIZASO, J. L.; WHITE, J. W.; URYASEV, O.; ROYCE, F. S.; OGOSHI, R.; GIJSMAN, A. J.; TSUJI, G. Y. **Decision support system for agrotechnology transfer (DSSAT)**. Version 4.5. Honolulu: University of Hawaii, 2010. Cd-rom.

HU, W.; SHAO, M. A.; WANG, Q. J.; REICHARDT, K. Soil water content temporal spatial variability of the surface layer of a Loess Plateau hillside in China. **Scientia Agrícola**, v.65, n.3, p.277-289, 2008.

JOHNSON, R. A. WICKERN. D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 2. ed. New York. Englewood Cliffs. Prentice Hall. 1988. 607p.

KAPPES, C.; ANDRADE, A. C. J.; ARF, O.; OLIVEIRA, A. C.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P. Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas. **Bragantia**, v.70, n.2, p.334-343, 2011.

KAPPES, C.; SILVA, R. G.; FERREIRA, V. E. M. Aplicação foliar de Azospirillum brasilense e doses de nitrogênio em cobertura no milho safrinha. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n.3, p.366-373, 2017.

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

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H.; YOKOYAMA, L. P.; OLIVEIRA, I. P. de.; COSTA, J. L. da. S.; SILVA, J. G. da.; VILELA, L.; BARCELLOS, A. de O.; MAGNABOSCO, C. de U. **Sistema Santa Fé - tecnologia Embrapa: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 28p.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE L. F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003.570p.

KUREK, A. J.; CARVALHO, F. I. F.; CRUZ, P. J.; LORENCETTI, C.; CARGNIN, A.; SIMIONI, D. Variabilidade em genótipos fixos de aveia branca estimada através de caracteres morfológicos. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.8, n.1, p.13-17, 2002.

LEAL, A. J. F.; MIGUEL, E. P.; BAILO, F. H. R.; NEVES, D. D. C.; LEAL, U. A. S. Artificial neural networks for corn yield prediction and definition of site-specific crop management through soil properties. **Bragantia**, v.74, n.4, p.436-444, 2015.

LI, Y.; ZHOU, Q.; ZHOU, J.; ZHANG, G.; CHEN, C.; WANG, J. Assimilating remote sensing information into a coupled hydrology-crop growth model to estimate regional maize yield in arid regions. **Ecological Modelling**, v. 291, n.10, p.15-27, 2014.

LORENCETTI, C.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; VALÉRIO, I. P.; BENIN, G.; ZIMMER, P. D.; VIEIRA, E. A. Distância genética e sua associação com heterose e desempenho de híbridos de aveia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.4, p.591-598, 2006.

LUCIANO, R. V.; ALBURQUERQUE, J. A.; COSTA, A.; BATISTELLA, B.; WARMLING, M. T. Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.36, v.1, p.1733-1744, 2012.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.2, p.176-77, 1962.

- MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.80, n.1, p.168-170, 2006.
- MARÔCO, J.; PINHEIRO, P. **Análise Estatística com o SPSS Statistic**. 6. Ed. Portugal, Report Number. 2014.
- MARQUES, J. D. de O. Horizontes pedogenéticos e sua relação com camadas hidráulicas do solo. 2000. 86 f. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2000.
- MARTIN, T. N.; STORCK, L.; LÚCIO, A.D.; LORENTZ, L. H. Plano amostral em parcelas de milho para avaliação de atributos de espigas. **Ciência Rural**, v.35, n.6, p.1257-1262, 2005.
- MATA, J. F.; SILVA, J. C. DA; R, J. F.; AFFÉRI, F. S.; VIEIRA, L. M. Produção de milho híbrido sob doses de esterco bovino. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.3, n.3, p. 125-134, 2010.
- MATTOSO, M. J.; GARCIA, L. C.; DUARTE, J. O.; CRUZ, J. C. Aspectos de produção e mercado do milho. **Informe Agropecuário**, v.27, n.1, p.95-104, 2006.
- MELO, F. de B.; CORA, J. E.; CARDOSO, M. J. Fertilização nitrogenada, densidade de plantas e rendimento de milho cultivado no sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.1, p.27-31, 2011.
- MENEZES, M. O. T.; TAYLOR, N. P.; ZAPPI, D. C.; LOIOLA, M. I. B.S pines and ribs of *Pilosocereus arrabidae* (Lem.) Byles & G.D. Rowley and allies (cactaceae): Ecologic or genetic traits? **Flora**, v.214, n.1, p. 44-49, 2015.
- MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.6, p.1149-1159, 2003.
- MINGOTI, S.A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada - uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora: UFMG, 2005. 295p.
- MIRANDA, G. V. COIMBRA, R. R.; GODOY, C. L.; SOUZA, L. V.; GUIMARÃES, L. J. M.; MELO, A. V. de. Potencial de melhoramento e divergência genética de cultivares de milho-pipoca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.6, p. 681-688, 2003.
- MODOLO, A. J.; CARNIELETTO, R.; KOLLING, E. M. TROGELLO, E.; SGARBOSSA, M. Desempenho de híbridos de milho na Região Sudoeste do Paraná sob diferentes espaçamentos entre linhas. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.3, p.435-441, 2010.

- MODOLO, A.J.; STORCK, L.; TROGELLO, E.; CASSOL, L.C. Sample size determination for maize plants and cob traits under straw management at sowing. **Maydica**, v.58, n.2, p.151-155, 2013.
- MOHAMMADI, S.A.; PRASANNA, B.M.; SINGH, N.N. Sequential path model for determining interrelationship among grain yield related characters in maize. **Crop Science**, v.43, n.5, p.1690-1697, 2003.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade - 4ª Ed.** Rio de Janeiro: LTC, 2004
- MORO, J. R.; SILVEIRA, F. T.; CARGNELUTTI FILHO, A. Dissimilaridade genética em sessenta e quatro linhagens de milho avaliadas para resistência ao complexo enfezamento. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v.7, n.1, p.153-160, 2007.
- MOURTZINIS, S.; ARRIAGA, F. J.; BALKCOM, K. S.; ORTIZ, B.V. Corn Grain and Stover Yield Prediction at R1 Growth Stage. **Agronomy Journal**, v.105, n.4, p.1045-1050, 2013.
- NASCENTE, A. S.; KLUTHCOUSKI, J.; RABELO, R. R.; OLIVEIRA, P. de.; COBUCCI, T.; CRUSCIOL, C. A. C. Desenvolvimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas em função do manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.2, p. 186-192, 2011.
- NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C. Cover crops and herbicide timing management on soybean yield under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.2, p.187-192, 2012.
- NASCIMENTO, P. dos S.; SILVA, J. A.; COSTA, B. R. S.; BASSOI, L. H. Zonas homogêneas de atributos do solo para o manejo de irrigação em pomar de videira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.4, p.1101-1113, 2014.
- NICOLAU, F. E. de A. **Desempenho energético e operacional do conjunto trator-semeadora em função de coberturas do solo e mecanismos sulcadores: atributos físicos do solo e componentes de produtividade.** 2016. 102 f. Dissertação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- NUMMER FILHO, I.; HENTSCHEKE C. W. Redução do espaçamento entre linhas na cultura do milho. **Revista Plantio Direto**, ed. 92, 2006.
- OHLAND, R. A. A.; SOUZA, L. C. F.; MACHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.3, p.538-544, 2005.
- OLIVEIRA, G. C. de; DIAS JUNIOR, M. S.; RESK, D. V. S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.2, p. 291-299, 2003

OLIVEIRA, J. G. R.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. Erosão no plantio direto: perda de solo, água e nutrientes. **Boletim geográfico**, v.30, n.3, p. 91-98, 2012.

OLIVEIRA JUNIOR, J. C. de; SOUZA, L. C. de P.; MELO, V. de F. Variabilidade de atributos físicos e químicos de solos da formação guabirota em diferentes unidades de amostragem. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.34, n.5, p.1491-1502, 2010.

OLIVEIRA, P. de.; KLUTHCOUSKI, J.; FAVARIN, J. L.; SANTOS, D. C. Consórcio de milho com braquiária e guandu-anão em sistema de dessecação parcial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n. 10, p. 1184-1192, 2011.

OLIVEIRA, P. de.; NASCENTE, A. S.; KLUTHCOUSKI, J.; PORTES, T. A. Crescimento e produtividade de milho em função da cultura antecessora. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, n.3, p.239-246, 2013.

OLIVEIRA, V. R.; SCAPIM, C. A.; CASALI, V. W. D. Diversidade genética e eficiência da predição do comportamento de híbridos de pimentão (*Capsicum annuum* L.). **Acta Scientiarum**, v.20, n.3, p. 263-267, 1998.

PACHECO, C. A. P.; GAMA, E. P.; GUIMARÃES, P. E. O.; SANTOS, M. X.; FERREIRA, A. S. Estimativas de parâmetros genéticos nas populações CMS-42 e CMS-43 de milho pipoca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.12, p.1995-2001, 1998.

PADOVAN, M. P.; ALMEIDA, D. L. de.; GUERRA, J. G. M.; RIBEIRO, R. L. D.; OLIVEIRA, F. L.; SANTOS, L. A.; ALVES, B. J. R.; SOUTO, S. M. Decomposition nutrient release from soybean cut at different grow the stages. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.4, p. 667-672, 2006.

PAIXÃO, L. S.; CAVALCANTE, M.; FERREIRA, P. V.; MADALENA, J. A. S.; PEREIRA, R. G. Divergência genética e avaliação de populações de milho em diferentes ambientes no Estado de Alagoas. **Revista Caatinga**, v.21, n.4, p.191-195, 2008.

PARIZI, A. R. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; GOMES, A. C. S.; SOARES, F. C.; VIVAN, G. A. Calibração e teste de um modelo mecanístico para a produção da cultura do milho em diferentes níveis de irrigação. **Irriga**, v.1, n.1, p. 1-18, 2016.

PAVÃO, A. R.; FILHO, J. B. S. F. Impactos econômicos da introdução do milho Bt11 no Brasil: uma abordagem de equilíbrio geral inter-regional. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.49, n.1, p.81-108, 2011.

PEIXOTO, C. M. **A evolução da produtividade do milho no Brasil**, 2011. Disponível em: <http://agrolink.com.br/noticias/a-evolucao-da-productividade-do-milho-nobrasil_130498.html>. Acesso em: 25 jun. 2016.

PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D.; COICEV, L.; BORDIN, L.; FARINELLI, R. Comportamento de cultivares de milho semeadas em diferentes

espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.2, p.52-60, 2003.

PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D.; COICEV, L.; BORDIN, L.; FARINELLI, R. Comportamento de cultivares de milho semeados em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.2, p.52-60, 2003.

PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C.; GAMA, E. E. G. Cultivares para o consumo verde. In: PEREIRA FILHO, I. A. (ed.). O cultivo do milho verde. Brasília: Embrapa, 2003. 210p.

PIANA, A. T. Densidade de plantas de milho híbrido em semeadura precoce no Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.38, n.9, p. 2608-2612, 2008.

PINTO, O. R. O. **Manejo do sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio e potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação**. 2008. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2008.

PORTO, A. P. F.; VASCONCELOS, R. C. DE; VIANA, A. E. S.; ALMEIDA, M. R. S. de. Variedade de milho a diferentes espaçamentos no Planalto de Vitória da Conquista - BA. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.1, p.208-214, 2011.

REETZ H. Here's how to estimate yields for corn and soybeans before harvest. **Better Crops With Plant Food**, v.7, n.1, p.18-19, 1987.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, v.27, n.1, p.29-48, 2003.

RESENDE, S. G. Influencia do espaçamento entre linhas e da densidade de plantio no desempenho de cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.1, p.34-42, 2003.

RESENDE, M.; ALBURQUERQUE, P. E.P; COUTO, L. **A cultura do milho irrigado**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 317p.

ROCHA, D. R. da.; FORNASIER FILHO, D.; BARBOSA, J. C. Efeitos da densidade de plantas no rendimento comercial de espigas verdes de cultivares de milho. **Horticultura Brasileira**, v.29, n.3, p.392-397, 2011.

RODRIGUES, V. DO N.; PINHO, R. G. V.; PAGLIS, C. M.; BUENO FILHO, J. S. DE S.; BRITO, A. H. DE. Comparação entre métodos para estimar a produtividade de grãos de milho. **Revista Ciência Agrotecnologia**, v.29, n.1, p.171-186, 2005.
RONG LI, R.; HOU, X.; JIA, Z.; HAN, Q.; REN, X.; YANG, B. The effects of mulching on maize growth, yield and water use in a semi-arid region. **Agricultural Water Management**, v.123, n.1, p. 71-78, 2013.

ROSA, S. D. V. F. da.; VON PINHO, É. V. R.; VIEIRA, M. das G. G. C.; VEIGA, R. D. Efeito do tamanho da amostra sobre alguns parâmetros físicos de espiga de milho e

da qualidade fisiológica das sementes. **Ciência e Agrotecnologia**, v.26, n.1, p.57-65, 2002.

ROSSETTI, K. de V.; ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F.; MATIAS, S. S. R.; NÓBREGA, J. C. A. Atributos físicos do solo em diferentes condições de cobertura vegetal em área de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.3, p.427-433, 2012.

SÁ, M. A. C.; JUNIOR, J. D. G. S. **Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. 26p.

SANCHEZ, E. **Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno**. 2012. Universidade Estadual do Centro-Oeste. Unicentro-PR. Dissertação de Mestrado, 2012.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos**. Lages: Graphel, 2010.

SANTANA, M. B.; SILVA, S. L.; SOUZA, D. L.; FONTES, L. E. F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.30, n.1, p.1-12, 2006.

SANTOS, P. R. A. DOS; CHIODEROLI, C. A.; LOUREIRO, D. R.; NICOLAU, F. E. DE A.; OLIVEIRA, J. L. P. de; QUEIROZ, R. F. de. Características morfológicas e produtivas do milho no consórcio com forrageiras em diferentes épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, n.7, p.2031-2039, 2017.

SANTOS, P. R. A. dos. **Consórcio de milho com forrageiras: atributos físicos do solo e produtividade**. 2016. 84 f.: Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, CE, 2016.

SECCO, D.; ROS, C. O. D.; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividades de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.3, p. 407-414, 2005.

SELEME, R.; STADLER, H. Controle da qualidade: as ferramentas essenciais. Curitiba: Ibpex, 2008. 181 p.

SHIOGA, P. S.; OLIVEIRA, E. L.; GERAGE, A. C. Densidade de plantas e adubação nitrogenada em milho cultivado na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.3, n.3, p.381-390, 2004.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.1, p.191-199, 2000.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBURQUERQUE, J. A.; ROSA, J. D.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.2, p.327-337, 2006.

SILVA, P. R. F. da; ARGENTA, G.; STRIEDER, M. L.; CARDOSO, E. T.; FORSTHOFER, E; SUHRE, E. Resposta de dois híbridos de milho ao arranjo de plantas. **In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO**, 24. 2002, Florianópolis. Meio ambiente e anova agenda para o agronegócio de milho esorgo: [resumos expandidos]... Sete Lagoas: ABMS/EPAGRI/Embrapa Milho e Sorgo, 2002. Cd Rom.

SILVA, D. A., VITORINO, A. C. T., SOUZA, L. C. F., GONÇALVES, M. C. E ROSCOE, R. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na cultura do milho, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.1, p.75-88, 2006.

SILVA, J. N.; LINHARES, P. C. A.; FIGUEREDO, J. P.; IRINEU, T. H. S.; SILVA, J. N.; ANDRADE, R. Crescimento do milho bandeirante sob lâminas de irrigação e *mulching*. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.11, n.4, p. 87-96, 2015.

SILVA, A. G.; CUNHA JÚNIOR, C. R.; ASSIS, R. L.; IMOLES, A. S. Influência da população de plantas e do espaçamento entre linhas nos caracteres agronômicos do híbrido de milho P30K75 em Rio Verde, Goiás. **Bioscience Journal**, v.24, n.2, p.89-96, 2008.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no Recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.3, p. 659-667, 2010.

SILVEIRA, V. H. **Atributos físicos de um argissolo espessarênico com cultivo de citros manejados em sistemas orgânico e convencional**. 2013. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2013.

SIMON, G. A.; KAMADA, T.; MOITEIRO, M. Divergência genética em milho de primeira e segunda safra. **Semina**, v.33, n.2, p.449-458, 2012.

SIQUEIRA, G. M.; VIEIRA, S. R.; CEDDIA, M. B. Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. **Bragantia**, v.67, n.1, p.203-211, 2008.

SOARES, F. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; RUSSI, J. L. Corn crop production prediction using artificial neural network. **Ciência Rural**, v.45, n.11, p.1987-1993, 2015.

SOUZA J. L. M. de.; GERSTEMBERGER, E.; ARAUJO, M. A. Calibração de modelos agrometeorológicos para estimar a produtividade da cultura do trigo, considerando sistemas de manejo do solo, em Ponta Grossa-PR. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.4, p.409 - 418, 2013.

STACCIARINI, T. de C. V.; CASTRO, P. H. C.; BORGES, M. A.; GUERIN, H. F.; MORAES, P. A. C.; GOTARDO, M. Avaliação de caracteres agronômicos da cultura do milho mediante a redução do espaçamento entre linhas e aumento da densidade populacional. **Revista Ceres**, v.57, n.4, p.516-519, 2010.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.2, p.395-401, 2001.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro - I efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p. 207-212, 2002.

STORCK, L.; LOPES, S. J.; CARGNELUTTI FILHO, A.; MARTINI, L. F. D.; CARVALHO, M. P. de. Sample size for single, double and three-way hybrid corn ear traits. **Scientia Agrícola**, v.64, p.30-35, 2007.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R., Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, n.3, p.755-760, 2004.

STRIEDER, M. L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L.; SANGOI, L.; SILVA, A. A.; ENDRIGO, P. C. A. Resposta do milho irrigado ao espaçamento entrelinhas depende do híbrido e da densidade de plantas. **Ciência Rural**, v.37, n.1, p.634-642, 2007.

SUGUINO, E. MARTINS, A. N.; MINAMI, K. NARITA, N. PERDONÁ, M. J. Efeito da porosidade do substrato casca de *Pinus* no desenvolvimento de mudas de rumixameira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. esp. n.1, p. 643-648, 2011.

TIMM, L. C.; PIRES, L. F.; ROVERATTI, R.; ARTHUR, R. C. J.; REICHARDT, K.; OLIVEIRA, J. C. M.; BACCHI, O. O. S. Field spatial and temporal patterns of soil water content and bulk density changes. **Scientia Agrícola**, v.63, n.1, p.55-64, 2006.

TOEBE, M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Multicollinearity in path analysis of maize (*Zea mays L.*). **Journal of Cereal Science**, v.57, n.1, p.453-462, 2013a.

TOEBE, M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Não normalidade multivariada e multicolinearidade na análise de trilha em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.5, p.466-477, 2013b.

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de C orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.6, p.1023-1031, 2004.

TOURINO, M. C. C.; REZENDE, P. M. DE.; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características

agronômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.8, p.1071-1077, 2002.

USDA - United States Department Agriculture. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>>. Acesso em: 22 de maio de 2017.

VASIĆ, N.; IVANOVIĆ, M.; JOCKOVIĆ, D.; PETERNELLI, L.; BEKAVAC, G.; NASTASIĆ, A. Influence of sample size on the estimate of mean value and variability for grain yield and grain moisture in synthetic populations of maize (*Zea mays L.*). **Cereal Research Communications**, v.31, n.1, p.213-220, 2003.

VÁZQUEZ, M. L. P. V.; MARTÍNEZ, J. S. M.; ILDEFONSO, R. L.; GUERRERO, A. P. La colección INIFAP de frijolayocote (*Phaseolus coccineus L.*) I: Distribución geográfica de sitios de colecta. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v.3, n.6, p.1247-1259, 2012.

VIAN, A. L.; SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; MAURÍCIO ROBERTO 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.

VIEIRA M. A. 2007. **Cultivares e população de plantas na produção de milho-verde**. Curitiba: UFPR. 78f. (Tese mestrado).

VON PINHO, R. G.; GROSS, M. R.; STEOLA, A. G.; MENDES, M. C. Adubação nitrogenada, densidade e espaçamento de híbridos de milho em sistema plantio direto na Região Sudeste do Tocantins. **Bragantia**, v.67, n.3, p.733-739, 2008.

WU, G.; JOHNSON, S.; BORNMAN, J. F.; BENNETT, S. J.; FANG, Z. Changes in whole grain polyphenols and antioxidant activity of six sorghum genotypes under different irrigation treatments. **Food Chemistry**, v.214, n.1, p.199-207, 2017.

ZUIN, G. C.; VIDIGAL FILHO, P. S.; KVITSCHAL, M. V.; VIGIGAL, M. C. G.; COIMBRA, G. K. Divergência genética entre acessos de mandioca de mesa coletados no município de Cianorte, região Noroeste do Estado do Paraná. **Semina**, v.30, n.1, p.21-30, 2009.

ANEXO A - ANOVA PARA OS COMPONENTES PRODUTIVOS DO MILHO

Fonte de Variação		SQ	df	QM	Z	p
PH	Entre Grupos	24403779,01	3	8134593,005	5,672	0,001
	Nos grupos	109003543,17	76	1434257,147		
	Total	133407322,19	79			
EH	Entre Grupos	4479017481,80	3	1493005827,26	56,334	0,000
	Nos grupos	2014196697,40	76	26502588,12		
	Total	6493214179,20	79			
PIH	Entre Grupos	3895645394,95	3	1298548464,98	34,383	0,000
	Nos grupos	2870337498,60	76	37767598,66		
	Total	6765982893,55	79			
MCG	Entre Grupos	42,54	3	14,182	0,487	0,693
	Nos grupos	2214,47	76	29,138		
	Total	2257,02	79			
MST	Entre Grupos	4,02	3	1,341	0,854	0,469
	Nos grupos	119,33	76	1,570		
	Total	123,36	79			
AiE	Entre Grupos	113,13	3	37,711	0,281	0,839
	Nos grupos	10189,84	76	134,077		
	Total	10302,98	79			
AP	Entre Grupos	595,43	3	198,479	0,858	0,467
	Nos grupos	17576,05	76	231,264		
	Total	18171,48	79			
NGF	Entre Grupos	96,37	3	32,125	0,990	0,402
	Nos grupos	2467,12	76	32,462		
	Total	2563,50	79			
NF	Entre Grupos	4,08	3	1,361	0,596	0,620
	Nos grupos	173,66	76	2,285		
	Total	177,74	79			
IVE	Entre Grupos	51,07	3	17,025	13,887	0,000
	Nos grupos	93,17	76	1,226		
	Total	144,25	79			
DC	Entre Grupos	53,95	3	17,986	2,392	0,075
	Nos grupos	571,54	76	7,520		
	Total	625,50	79			

Legenda: produção por hectare (PH), número de espiga por hectare (NEP), plantas por hectare (PH), altura da planta (AP), altura de inserção da 1ª espiga (AiE), massa seca total (MST), massa de 100 grãos (MCG), número de grãos por fileiras (NGF), número de fileiras (NF), umidade dos grãos (UG), emergência (E) e diâmetro do colmo (DC).