

Rendimento de genótipos de milho fertilizado com nitrogênio polimerizado e convencional: uma análise uni e multivariada

Yield of corn genotypes fertilized with polymerized and conventional nitrogen: a uni and multivariate analysis

Rendimiento de genotipos de maíz fertilizado con nitrógeno polimerizado y convencional: un análisis uni y multivariado

Recebido: 21/08/2020 | Revisado: 02/09/2020 | Aceito: 19/09/2020 | Publicado: 20/09/2020

Luiz Leonardo Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5444-8503>

Centro Universitário de Mineiros, Brasil

E-mail: leoagrozoo@hotmail.com

Ivo Frohlich Junior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2102-9203>

Centro Universitário de Mineiros, Brasil

E-mail: junior_frohlich@hotmail.com

Lucas Franco Machado

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0330-6374>

Centro Universitário de Mineiros, Brasil

E-mail: lucas_machado_99@hotmail.com

Sérgio Silva Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6036-9964>

Centro Universitário de Mineiros, Brasil

E-mail: sergiosilvaferreira27@gmail.com

Ivan Ricardo Carvalho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7947-4900>

Centro Universitário de Mineiros, Brasil

E-mail: ivan.carvalho@unijui.edu.br

Núbia Sousa Carrijo dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9013-3736>

Centro Universitário de Mineiros, Brasil

E-mail: nubia@unifimes.edu.br

Marilaine de Sá Fernandes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9911-1496>

Centro Universitário de Mineiros, Brasil

E-mail: marilaine@unifimes.edu.br

Alexandre Igor de Azevedo Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7957-6691>

Instituto Federal Goiano, Brasil

E-mail: alexandre.pereira@ifgoiano.edu.br

Carmen Rosa da Silva Curvêlo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2003-3884>

Instituto Federal Goiano, Brasil

E-mail: carmencurvelo@yahoo.com.br

Rodrigo Vieira da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4778-627X>

Instituto Federal Goiano, Brasil

E-mail: rodrigo.silva@ifgoiano.edu.br

Uirá do Amaral

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2907-5586>

Instituto Federal de Brasília, Brasil

E-mail: uira@iftm.edu.br

Ricardo de Andrade Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8248-9772>

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil

E-mail: ricardo_deandrade@yahoo.com.br

Resumo

O milho é considerado um dos principais cereais cultivados em todo o mundo, fornecendo produtos muito utilizados para a alimentação humana. A forma de aplicação do nitrogênio pode influenciar o seu aproveitamento pelas plantas, pela alta dinâmica que este elemento possui na natureza. Para reduzir as perdas nitrogenadas, foi desenvolvida a ureia revestida com camadas de polímeros que permite a liberação gradativa do nitrogênio fazendo com que estes tenham menores perdas. Dessa maneira, a eficiência da adubação nitrogenada pode ser ampliada mediante o uso de fertilizantes de liberação lenta. Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar o rendimento de genótipos de milho fertilizado com nitrogênio polimerizado

e convencional, sobre uma análise uni e multivariada. O estudo foi conduzido no município de Mineiros, Goiás, Brasil. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso em fatorial 4x2, totalizando 8 tratamentos, correspondente a quatro cultivares de milho (LG6030, MG600, 2B610 e CD3770) com dois métodos de adubação nitrogenada (ureia polimerizada 40% N e convencional 45% N), em 4 repetições. As variáveis foram analisadas após a colheita e os dados submetidos as análises uni e multivariadas. As análises foram realizadas na interface Rbio e Genes. A interação entre os fatores foi quase nula, e a fonte de variação genética foi a grande responsável pela divergência experimental. Ao término pode se concluir que as análises uni e multivariadas foram complementares entre si, sendo possível recomendar para altos rendimentos de milho o cultivo do genótipo CD3770 utilizando a ureia polimerizada.

Palavras-chave: Azoto; Liberação lenta; Ureia protegida; *Zea mays*.

Abstract

Corn is considered one of the main cereals grown worldwide, providing products widely used for human consumption. The application of nitrogen can influence its use by plants, due to the high dynamics that this element has in nature. In order to reduce nitrogen losses, urea coated with layers of polymers was developed, which allows the gradual release of nitrogen causing them to have less losses. In this way, the efficiency of nitrogen fertilization can be increased through the use of slow-release fertilizers. Therefore, this work aimed to evaluate the yield of corn genotypes fertilized with polymerized and conventional nitrogen, under a univariate and multivariate analysis. The study was conducted in the municipality of Mineiros, Goiás, Brazil. The experimental design used was a randomized block in a 4x2 factorial, totaling 8 treatments, corresponding to four corn cultivars (LG6030, MG600, 2B610 and CD3770) with two methods of nitrogen fertilization (polymerized urea 40% N and conventional 45% N), in 4 repetitions. The variables were analyzed after harvest and the data submitted to univariate and multivariate analyzes. The analyzes were performed at the Rbio and Genes interface. The interaction between the factors was almost nil, and the source of genetic variation was largely responsible for the experimental divergence. At the end, it can be concluded that the univariate and multivariate analyzes were complementary, making it possible to recommend the cultivation of the genotype CD3770 for high corn yields using polymerized urea.

Keywords: Nitrogen; Slow release; Protected urea; *Zea mays*.

Resumen

El maíz es considerado uno de los principales cereales cultivados a nivel mundial, proporcionando productos ampliamente utilizados para el consumo humano. La forma de aplicación del nitrógeno puede influir en su uso por parte de las plantas, debido a la alta dinámica que tiene este elemento en la naturaleza. Con el fin de reducir las pérdidas de nitrógeno, se desarrolló urea recubierta con capas de polímeros, que permite la liberación gradual de nitrógeno provocando que estos tengan menos pérdidas. De esta manera, la eficiencia de la fertilización con nitrógeno puede incrementarse mediante el uso de fertilizantes de liberación lenta. Por tanto, este trabajo tuvo como objetivo evaluar el rendimiento de genotipos de maíz fertilizados con nitrógeno polimerizado y convencional, bajo un análisis univariado y multivariado. El estudio se realizó en el municipio de Mineiros, Goiás, Brasil. El diseño experimental utilizado fue un bloque al azar en un factorial 4x2, totalizando 8 tratamientos, correspondientes a cuatro cultivares de maíz (LG6030, MG600, 2B610 y CD3770) con dos métodos de fertilización nitrogenada (urea polimerizada 40% N y convencional 45% N), en 4 repeticiones. Las variables se analizaron después de la cosecha y los datos se sometieron a análisis univariados y multivariados. Los análisis se realizaron en la interfaz Rbio y Genes. La interacción entre los factores fue casi nula y la fuente de variación genética fue en gran parte responsable de la divergencia experimental. Al final se puede concluir que los análisis univariados y multivariados fueron complementarios, lo que permitió recomendar el cultivo del genotipo CD3770 para altos rendimientos de maíz utilizando urea polimerizada.

Palabras clave: Nitrógeno; Liberación lenta; Urea protegida; *Zea mays*.

1. Introdução

O milho (*Zea mays*) é um dos principais cereais cultivados no mundo, e tem sua importância caracterizada pela diversidade de formas de sua utilização, que vai desde a alimentação animal, humana até indústrias de alta tecnologia. Estima-se que há mais de 3.000 derivados do milho tanto para consumo humano como industrial, representando em torno de 21% da nutrição humana no planeta (SEAB/DERAL, 2018).

A cultura do milho no Brasil ocupa 27% da área agricultada do país com uma produção de 81.4 milhões de toneladas representando 38% da produção total de grãos 21 produzidos no país e, com uma média de produtividade de 4.9 t ha⁻¹ entre safra e safrinha no ano agrícola 2017/18 (CONAB, 2018).

O milho é considerado um dos principais cereais cultivados em todo o mundo, fornecendo produtos muito utilizados tanto para a alimentação humana, para a alimentação animal e matérias-primas para a indústria, principalmente em função da quantidade e qualidade das reservas acumuladas nos grãos (Alves et al., 2015).

Seu crescimento vegetal é resultado de interações entre o potencial genético das plantas e dos fatores ambientais. Ou seja, a diferença de rendimento médio obtido em lavouras e as que são verificadas em condições de adequado manejo pode ser atribuída a várias causas, como o uso de híbridos com baixo potencial de produção de grãos e/ou não adaptados à região de cultivo, aplicação de baixas doses de fertilizantes, época de semeadura imprópria, arranjo inadequado de plantas e falha no manejo de plantas infestantes, pragas e doenças (Sangoi et al., 2007).

Segundo Andreucci (2007), o nitrogênio é um dos elementos mais exigidos e fornecidos em sistemas agrícolas. O manejo de adubações nitrogenadas é um dos mais complexos, devido a fatores relacionados ao custo dos fertilizantes nitrogenados - decorrente de problemas na eficiência de algumas fontes (Menezes, 2004) e da grande quantidade de energia demandada para a sua obtenção (Vitti et al., 1984) - e ao potencial poluente desse elemento, tanto para as águas de superfície quanto subterrâneas. Esse nutriente se caracteriza por possuir um dos maiores índices de perdas, as quais podem ocorrer por lixiviação, escoamento superficial, erosão, volatilização de amônia e desnitrificação. O maior ou menor índice de perda pode ser contornado pela forma de aplicação, manejo e fonte do nutriente a ser utilizada.

A forma de aplicação do nitrogênio pode influenciar o seu aproveitamento pelas plantas. A aplicação de ureia a lanço sobre o solo forma comumente usada pelos produtores na região dos Cerrados, devido à maior facilidade de aplicação e ao rendimento operacional, pode resultar em grandes perdas deste elemento, por volatilização de amônia (Cantarella, 1993) e danos foliares, podendo causar queima nas folhas (Yamada, 1996). Pode ocorrer, também, maior imobilização do nitrogênio mineral pelos microrganismos quimiorganotróficos, para a decomposição dos resíduos vegetais presentes no solo (Silva et al., 2001).

Para reduzir as perdas de nutrientes, principalmente o nitrogenado, foi desenvolvida a uréia revestida com camadas de polímeros que permite a liberação gradativa do nitrogênio fazendo com que estes tenham menores perdas. Essas liberações gradativas permitem reduzir as perdas normalmente ocorridas na utilização de uréia possibilitando a redução da dose de fertilizantes sem influenciar a produtividade das lavouras e assim, aumentar a lucratividade do

agricultor (Serrano et al., 2006).

Dessa maneira, a eficiência da adubação nitrogenada pode ser ampliada mediante o uso de fertilizantes de liberação lenta, com significativa redução de perdas de nitrogênio devido à lixiviação, imobilização e, ainda, volatilização garantindo assim maior disponibilidade às plantas (Cantarella, 2007). O nitrogênio é o nutriente que representa o maior custo para a lavoura e é fundamental para o ótimo crescimento e desenvolvimento da cultura a fim de se obter alta produtividade, uma vez que os componentes morfológicos apresentam correlação com a produtividade. Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar o rendimento de genótipos de milho fertilizado com nitrogênio polimerizado e convencional, sobre uma análise uni e multivariada.

2. Metodologia

O estudo foi conduzido na Fazenda Experimental Luiz Eduardo de Oliveira Sales, no município de Mineiros, Goiás, Brasil, situado entre as coordenadas geográficas de 17°34'10'' latitude Sul e 52°33'04'' longitude Oeste, com altitude média de 760 m. A temperatura média é de 22,7 °C, a precipitação média anual é de 1695 mm ocorrendo principalmente na primavera e no verão. O clima predominante é quente, semiúmido e notadamente sazonal, com verão chuvoso e inverno seco, sendo classificado como "Aw" (Köppen e Geiger, 1936). O solo é classificado como Neossolo Quartzarênio órtico típico, com textura média, topografia suavemente ondulada a plana e drenagem limitada (EMBRAPA, 2013).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso em fatorial 4x2, totalizando 8 tratamentos, correspondente a quatro cultivares de milho (LG6030, MG600, 2B610 e CD3770) com dois métodos de adubação nitrogenada (ureia polimerizada 40% N e convencional 45% N), em 4 repetições, totalizando 32 unidades experimentais, onde cada unidade foi composta de 4 linhas de 4 metro de comprimento distanciadas a cada 0,5 m.

Antes da instalação do experimento foi realizado coleta e análise de solo na camada superficial de 0-20 cm verificando-se as seguintes características: potencial de hidrogênio 4,1; fósforo 3 em mg dm⁻³; potássio 0,6, cálcio 5, magnésio 3, alumínio 4, acidez potencial 29, soma de bases 8,6, capacidade de troca catiônica 37,6 e saturação de base 22,94 em mmolc dm⁻³; argila 80, silte 30 e areia 890 em g dm⁻³. As análises foram realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UNIFIMES, segundo metodologia de (EMBRAPA, 2009).

O preparo do solo foi realizado no sistema convencional com o uso de trator a tração motora realizando aração e gradagem. A semeadura foi realizada simultaneamente no sulco,

sendo manual a distribuição das sementes, em densidade de 3 sementes por metro linear, relacionando uma população de 60.000 plantas ha⁻¹.

A adubação convencional de plantio foi realizada no dia 19/02/2017, com a utilização do mineral NPK da fórmula 7-20-20 com dose de 300 kg ha⁻¹. A aplicação das fontes nitrogenadas foram realizadas no dia 04/03/2017 nas doses de 157,5 kg ha⁻¹ de ureia polimerizada e 200 kg ha⁻¹ da ureia convencional, ambas aplicadas a lanço. O controle de plantas daninhas foi realizado com Zap Qi na concentração de 1,5 L ha⁻¹ na fase fenológica V2, para esta foi utilizado pulverizador costal de pressão constante de 2,0 bar (CO₂), do tipo cone, aplicando um volume de calda de 335 L ha⁻¹, nas horas amenas do dia, com temperatura média ambiente de 25°C, umidade relativa do ar acima de 60% e ventos inferiores a 5 km h⁻¹.

As variáveis foram analisadas após a colheita no dia 15 de junho de 2017. Para tal, determinou-se: altura de planta PHE em cm; altura de inserção da espiga EIH em cm; diâmetro de colmo SDI em cm; número de fileira por espiga NRE em unid; número de grãos por fileira NGR em unid; número de grãos por espiga NGE em unid; peso de mil grãos TGW em g; e rendimento YIE com umidade de 13% nos grãos em sc ha⁻¹. Logo após, os dados obtidos foram submetidos as pressuposições do modelo estatístico, verificando-se a normalidade (Shapiro e Wilk, 1965) e homogeneidade das variâncias (Steel et al., 1997).

Após, realizou-se a análise de variância com a finalidade de identificar a interação entre os genótipos de milho e fontes nitrogenada, ao verificar interação significativa estas foram desmembradas aos efeitos simples e na ausência com efeitos principais através do teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Utilizou-se, também, o critério de Singh (1981) para quantificar a contribuição relativa dessas características na divergência genética. Para o agrupamento dos genótipos, utilizou-se o método de Tocher (Rao, 1952). Posteriormente as variáveis de cada espaçamento foram submetidas as correlações de Pearson com intuito de compreender a tendência de associação, sendo sua significância baseada a 5% de probabilidade pelo test t. A análise de trilha foi realizada a partir da matriz de correlação fenotípica, considerando o YIE como a variável dependente e PHE, EIH, SDI, NRE, NGR, NGE e TGW como explicativas. Identificada a presença de elevada multicolinearidade dentre os dados, procedeu-se à análise de trilha sob multicolinearidade, com posterior ajuste do fator k aos elementos da diagonal da matriz de correlação. Posteriormente empregou-se o método das variáveis canônicas biplot onde possibilitou visualizar a variabilidade geral do experimento e as tendências multivariadas. As análises foram realizadas na interface Rbio do R (Bhering, 2017), além do Software Genes (Cruz, 2016).

3. Resultados e Discussão

O resumo da análise de variância quando analisamos os genótipos G podemos verificar que apresentou efeito significativo para todas as variáveis, exceto número de grãos por fileira (NGR). Para o fertilizante F apenas altura de planta (PHE) apresentou efeito significativo, o mesmo ocorreu com a interação G x F. As informações corroboram com os trabalhos de Possamai et al. (2001), Taiz et al. (2017), Lopes et al. (2017), Ferreira et al. (2019).

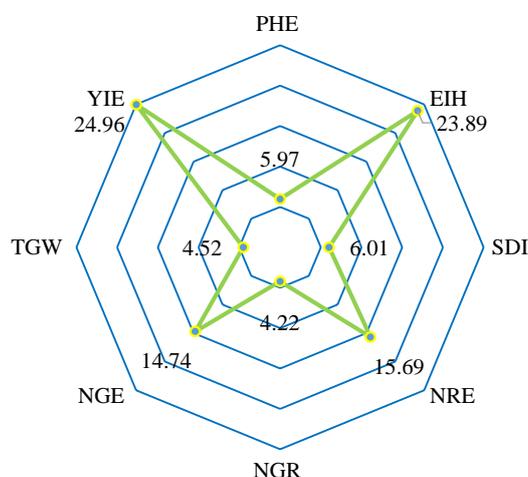
Tabela 1 - Resumo da análise de variâncias para altura de planta – PHE, altura de inserção da espiga – EIH, diâmetro de caule – SDI, número de fileira por espiga – NRE, número de grãos por fileira – NGR, número de grãos por espiga – NGE, peso de mil grãos – TGW e rendimento – YIE. UNIFIMES, 2020.

FV	GL	PHE	EIH	SDI	NRE	NGR	NGE	TGW	YIE
-----QM-----									
G x F	3	0.018*	686.405	0.002	0.955	0.549	1434.501	201.319	235.479
Genótipos (G)	3	0.051**	11550.423**	0.397**	19.325**	4.100	21735.545**	2741.998**	1214.456**
Fertilizante (F)	1	0.034**	92.039	0.071	0.211	3.645	179.741	125.611	9.342
Blocos	3	0.070	866.986	0.010	0.261	4.000	661.393	158.780	5.583
Resíduo	21	0.004	735.142	0.023	0.479	4.778	1759.599	380.595	290.037
Média		1.817	57.958	2.623	16.444	37.131	609.821	311.119	189.198
CV (%)		3.527	46.781	5.777	4.210	5.887	6.879	6.271	9.001

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Fonte: Autores.

A divergência dos tratamentos foi justificada percentualmente pelos caracteres de rendimento (24.96%), altura de inserção da espiga (23.89%), número de fileira por espiga (15.69%) e número de grãos por espiga (14.74%), foram as variáveis que mais influenciaram e juntas são responsáveis por 79.28% da divergência entre os tratamentos (Figura 1). Neste sentido, a contribuição relativa de cada caráter para a divergência genética é de grande importância para se identificar os caracteres de maior contribuição e, também, para auxiliar no descarte daqueles que contribuem pouco para a discriminação dos genótipos, reduzindo-se, dessa forma, mão de obra, tempo e custo despendidos na experimentação (Correa e Gonçalves, 2012).

Figura 1 - Contribuição relativa dos caracteres para a divergência de acordo com Singh (1981), dos genótipos de milho fertilizado com nitrogênio polimerizado e convencional. UNIFIMES, 2020.



Variáveis: altura de planta – PHE, altura de inserção da espiga – EIH, diâmetro de caule – SDI, número de fileira por espiga – NRE, número de grãos por fileira – NGR, número de grãos por espiga – NGE, peso de mil grãos – TGW e rendimento – YIE. Fonte: Autores.

Desdobrando o efeito simples foi possível observar que o milho LG6030 apresentaram as plantas mais altas com a ureia polimerizada, bem como, a mesma e CD3770 na ureia convencional (Tabela 2). Esses padrões foram satisfatórios por estar dentro do esperado pelo fabricante e para as condições locais comerciais observadas. Isso comprova o ajuste na fonte nitrogenada, uma vez que o fornecimento em excesso de nitrogênio pode levar a um crescimento exagerado e susceptibilidade ao tombamento das plantas, baixo enchimento dos grãos e decréscimo nos rendimentos.

Tabela 2 - Médias seguidas para o efeito simples para altura de planta – PHE de genótipos de milho fertilizado com nitrogênio polimerizado e convencional. UNIFIMES, 2020.

Genótipos	PHE					
	Polimerizado			Convencional		
LG6030	1.92	a	A	1.96	a	A
CD3770	1.72	b	B	1.86	a	A
2B610	1.79	b	A	1.73	b	A
MG600	1.72	b	B	1.85	ab	A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

O milho LG6030 apresentou baixa altura de inserção da espiga (EIH) e elevado diâmetro de caule (SDI) para ambas as fontes nitrogenadas (Tabela 3). De acordo com Possamai et al. (2001) plantas com altura de inserção das espigas e altura de planta elevadas apresentaram vantagens na colheita, com redução nas perdas na colheita mecanizada, dentre outros fatores. Segundo Taiz et al. (2017) fatores como luz, água, dióxido de carbono, oxigênio, conteúdo e disponibilidade de nutrientes no solo, temperatura e toxinas podem afetar o crescimento e desenvolvimento do vegetal.

Quando avaliado o número de fileira por espiga (NRE) e número de grãos por espiga (NGE), pode-se notar dois genótipos se sobressaindo em ambos os sistemas CD3770 e 2B610. No peso de mil grão (TGW) apenas o genótipo 2B610 na ureia convencional tendenciou a apresentar baixas médias. Lopes et al. (2017) ressalta que dentre outros fatores o peso de grãos pode estar correlacionado a diversas características da espiga estabelecidas pela carga genética, então a escolha do híbrido é essencial.

Na variável rendimento (YIE) o genótipo CD3770 tendenciou as maiores médias (204.40 sc ha⁻¹), ficando mais evidente essa performance na ureia polimerizada. Ferreira et al. (2019) com N protegido de baixo impacto ambiental encontraram pontos de otimização para este elemento, além de configurações distintas dentre os híbridos de milho. Para Souza et al. (2014), a produtividade de grãos do milho, é um caráter complexo resultante da expressão e associação de diferentes componentes, sendo, portanto, afetada por quase todos os demais caracteres da planta, dessa forma, o rendimento de grãos é um caráter de baixa herdabilidade, pois a herança genética resultante é muito complexa devido a atuação de vários genes.

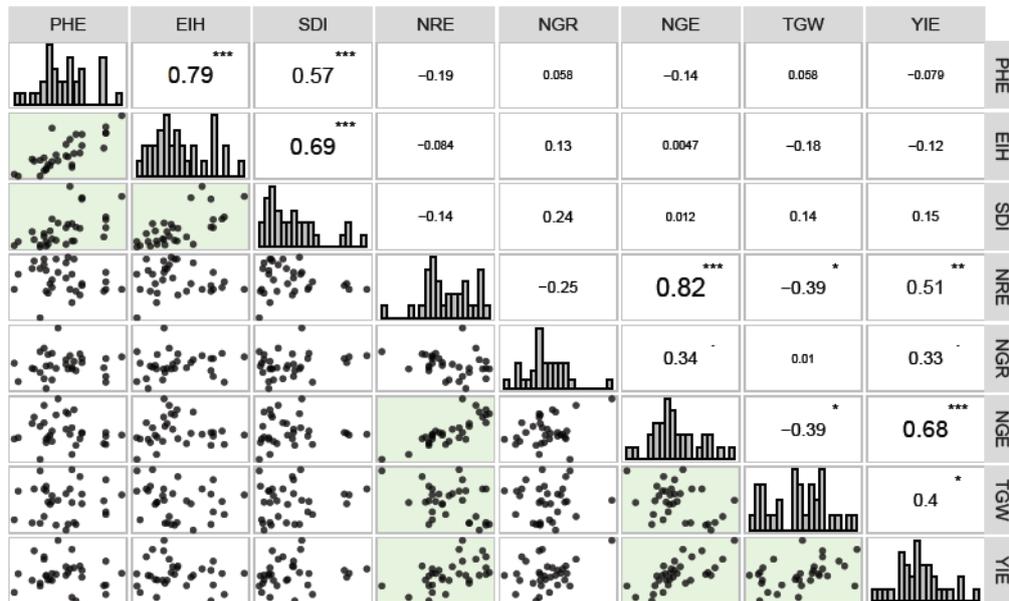
Tabela 3 - Médias seguidas para o efeito simples para altura de inserção da espiga – EIH, diâmetro de caule – SDI, número de fileira por espiga – NRE, número de grãos por espiga – NGE, peso de mil grãos – TGW e rendimento – YIE de genótipos de milho fertilizado com nitrogênio polimerizado e convencional. UNIFIMES, 2020.

Genótipos	EIH (m)		SDI (cm)		NRE (unid)							
	Polimerizado	Convencional	Polimerizado	Convencional	Polimerizado	Convencional						
LG6030	1.16	b	1.10	b	2.91	a	2.99	a	15.50	b	15.75	bc
CD3770	84.68	a	65.58	a	2.55	b	2.61	b	17.30	a	17.05	ab
2B610	70.26	a	91.70	a	2.45	b	2.55	b	18.45	a	18.00	a
MG600	82.53	a	66.68	a	2.40	b	2.53	b	14.20	b	15.30	c
Genótipos	NGE (unid)		TGW (g)		YIE (sc ha ⁻¹)							
	Polimerizado	Convencional	Polimerizado	Convencional	Polimerizado	Convencional						
LG6030	588.79	bc	584.17	b	308.58	a	307.08	ab	182.06	ab	179.56	a
CD3770	635.21	ab	604.84	ab	322.18	a	337.03	a	204.40	a	203.97	a
2B610	685.37	a	669.20	a	290.32	a	283.24	b	198.78	ab	189.66	a
MG600	539.41	c	571.60	b	315.47	a	325.05	a	169.39	b	185.76	a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

Na correlação fenotípica para os genótipos de milho fertilizados com nitrogênio polimerizado e convencional observamos que a altura de planta (PHE) obteve uma correlação positivamente com a altura de inserção da espiga (EIH), bem como, as variáveis EIH e PHE influenciaram positivamente o diâmetro de caule (SDI). O caráter número de fileira por espiga (NRE) obteve correlações positivas com as variáveis número de grãos por espiga (NGE), peso de mil grãos (TGW) e rendimento (YIE). O TGW por sua vez, foi influenciado negativamente por NRE e NGE (Figura 2). Para Kopper et al. (2017), o rendimento foi afetado diretamente apenas pela EIH, mostrando que plantas com espigas inseridas em maior altura tendem a produzir mais. Carvalho et al. (2015) e Zanatto et al. (2016) também observaram correlações entre os componentes morfológicos e de rendimento na cultura do sorgo. Para Nogueira et al. (2012) na interpretação das correlações, deve-se considerar três fatores: a magnitude, a direção e a significância.

Figura 2 - Correlação fenotípica de genótipos de milho fertilizado com nitrogênio polimerizado e convencional. UNIFIMES, 2020.



Variáveis: altura de planta – PHE, altura de inserção da espiga – EIH, diâmetro de caule – SDI, número de fileira por espiga – NRE, número de grãos por fileira – NGR, número de grãos por espiga – NGE, peso de mil grãos – TGW e rendimento – YIE. Significância: * 5% de probabilidade; **1 de probabilidade pelo teste t. Fonte: Autores.

Pela importância de se conhecer as relações de causa e efeito, Wright (1921) desenvolveu a análise de trilha, a qual desdobra as correlações, entre cada par de variáveis de um conjunto, em efeitos diretos e indiretos. Dessa forma, é possível quantificar a influência direta de uma variável sobre a outra, independente das demais, no contexto de causa e efeito. A análise multivariada possibilita a seleção de genótipos superiores em detrimento das características que são avaliadas simultaneamente e permite conhecer o parentesco genético, possibilitando a formação de futuros cruzamentos (Canal, 2019).

De forma direta observou-se que para elevar o rendimento (YIE) é necessário a manutenção de altas médias para o número de fileira por espiga (NRE), número de grãos por espiga (NGE) e peso de mil grãos (TGW), além de, reduzir o número de grãos por fileira (NGR). Indiretamente os caracteres de maior influência foi o NRE e NGR (Tabela 4).

Tabela 4 - Estimativas dos efeitos diretos e indiretos na análise de trilha em caracteres explicativos altura de planta – PHE, altura de inserção da espiga – EIH, diâmetro de caule – SDI, número de fileira por espiga – NRE, número de grãos por fileira – NGR, número de grãos por espiga – NGE e peso de mil grãos – TGW sobre o rendimento – YIE de genótipos de milho fertilizado com nitrogênio polimerizado e convencional. UNIFIMES, 2020

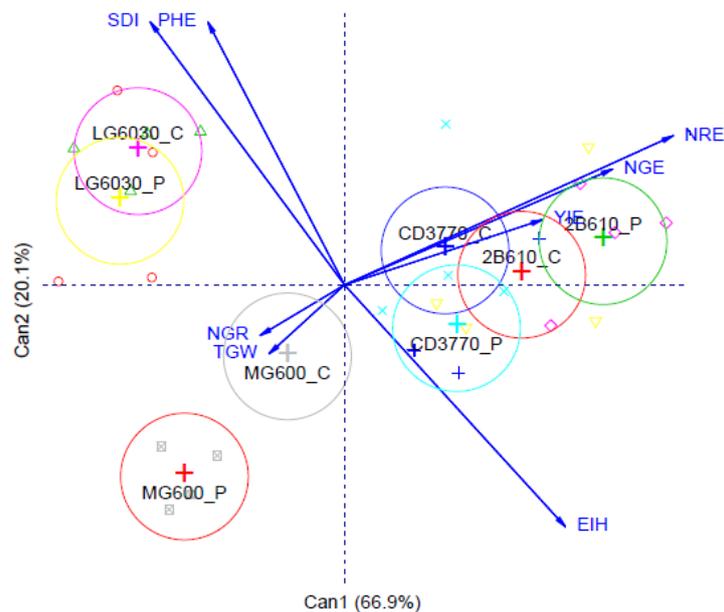
Efeito	Caracteres	PHE	EIH	SDI	NRE	NGR	NGE	TGW
Efeito direto sobre	YIE	-0.04	0.07	0.08	0.30	-0.56	0.23	0.18
Efeito indireto sobre	PHE		0.04	-0.04	0.02	-0.01	0.02	0.00
Efeito indireto sobre	EIH	-0.07		-0.07	0.03	-0.03	0.03	0.00
Efeito indireto sobre	SDI	0.08	-0.08		-0.02	0.01	-0.02	0.00
Efeito indireto sobre	NRE	-0.13	0.12	-0.07		-0.18	0.30	-0.15
Efeito indireto sobre	NGR	-0.19	0.21	-0.10	0.34		0.25	0.22
Efeito indireto sobre	NGE	-0.09	0.08	-0.05	0.22	-0.10		-0.15
Efeito indireto sobre	TGW	0.01	0.01	0.00	-0.09	-0.07	-0.12	
TOTAL		-0.45	0.47	-0.26	0.81	-0.95	0.68	0.11

Coefficiente de determinação R^2 : 0.98; Valor de K usado na análise: 2.21E-02; Efeito da variável residual: 0.10; Determinante de correlação entre as variáveis explicativas: 2.31E-06. Fonte: Autores.

A análise de variáveis canônicas revelou explicação de 87% da variação total dos dados, onde o genótipo MG600 com ureia convencional apresentou afinidade com as variáveis número de grãos por fileira (NGR) e peso de mil grãos (TGW), o genótipo 2B610 em ambas as situações de fornecimento de nitrogênio também apresentou alta afinidade com o rendimento (YIE) (Figura 3). Essa análise procura com base em um grande número de características originais correlacionadas, obter combinações lineares dessas características, chamadas de variáveis canônicas, de tal forma que a correlação entre essas variáveis seja nula (Khattree e Naik, 2000). Cruzamentos entre linhagens de grupos distintos em relação a duas variáveis canônicas resultarão em genitores que apresentarão a maior exploração da heterose, e a distância de um grupo para o outro contribuirá ainda mais para este resultado (Cruz et al.; 2004)

Varella et al. (2019) colocam que por meio das variáveis canônicas estimar a predição de nitrogênio para a cultura do milho. Silva et al. (2015) colocam que as técnicas de análises multivariadas são eficientes para verificar as similaridades ou as diferenças na variabilidade da produtividade, com base nos atributos químicos e físicos do solo na área estudada.

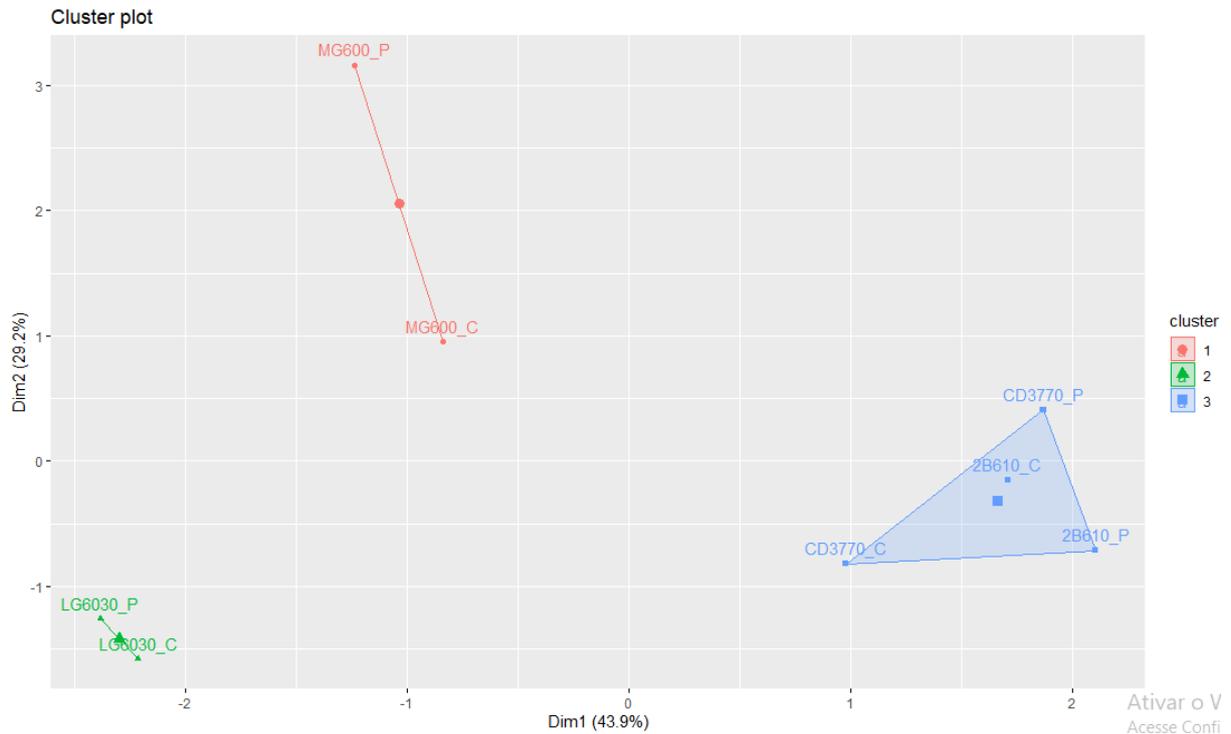
Figura 3 - Análise de variáveis canônicas obtida através do algoritmo de *Mahalanobis* dos caracteres altura de planta – PHE, altura de inserção da espiga – EIH, diâmetro de caule – SDI, número de fileira por espiga – NRE, número de grãos por fileira – NGR, número de grãos por espiga – NGE, peso de mil grãos – TGW e rendimento – YIE de genótipos de milho fertilizado com nitrogênio polimerizado e convencional. UNIFIMES, 2020.



Fonte: Autores.

Os tratamentos formados pela interação (GxF) utilizando a distância generalizada de *Mahalanobis* e otimizado pelo método de Tocher, formou 3 clusters distintos. Cluster I (CD3770_P, CD3770_C, 2B610_P e 2B610_C), cluster II (MG600_C e MG600_P) e III (LG6030_C e LG6030_P) (Figura 4). Desta forma observamos que o fator genético foi decisivo na formação dos cluster, onde os genótipos CD3770 e 2B610 esteve no primeiro, MG600 no segundo e no terceiro LG6030 cluster. Vian et al. (2016) reforçam que a variabilidade espacial ou a heterogeneidade da produtividade de grãos pode estar associada a uma série de fatores que interagem de forma complexa e condicionam a expressão da cultura. Uma das técnicas para analisar a divergência genética é a análise de agrupamento, onde os genótipos são agrupados levando em consideração a similaridade das características, permitindo obter informação do grau de semelhança ou de diferença entre dois ou mais genótipos (Feitosa et al., 2019).

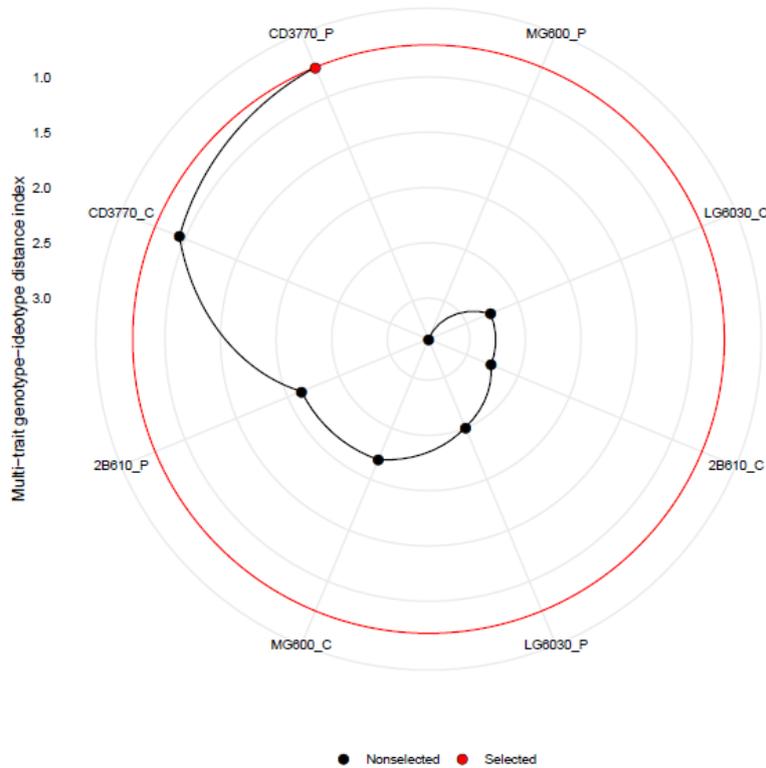
Figura 4 - Dendrograma baseado na distância generalizada de *Mahalanobis*, com agrupamento UPGMA e otimizado pelo método de Tocher, dos genótipos de milho fertilizado com nitrogênio polimerizado e convencional. UNIFIMES, 2020.



Fonte: Autores.

Classificação dos tratamentos e tratamentos selecionados para o multitrait stability index considerando uma intensidade de seleção de 15%, indicou que o genótipo CD3770 com a ureia polimerizada (MGIDI: 0.71) foi o selecionado, no entanto, pode-se realizar novos trabalhos com esse genótipo utilizando a ureia convencional (MGIDI: 0.94), pela proximidade dos resultados encontrados (Figura 5).

Figura 5 - Classificação dos tratamentos e tratamentos selecionados para o multitrait stability index considerando uma intensidade de seleção de 15%.



Fonte: Autores.

4. Considerações Finais

As análises uni e multivariadas foram complementares entre si, sendo possível recomendar para altos rendimentos o cultivo do genótipo CD3770 utilizando a ureia polimerizada.

Demais pesquisas devem ser desenvolvidas com a otimização do nitrogênio pelas plantas, alinhado com metodologias, que melhor explique os efeitos biológicos em campo.

Referências

Alves, B. M., Burin, C., Toebe, M., Silva, L. P. D. Genetic divergence of transgenic maize in relation to grain productivity and nutritional quality. *Ciência Rural*, 45(5), 884-891, 2015.

Andreucci, M. P. Perdas nitrogenadas e recuperação aparente de nitrogênio em fontes de adubação de capim elefante. 2007. 204 f. *Dissertação* (Mestrado em Ciência Animal e

Pastagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Canal, G. B. Melhoramento genético de *Euterpe edulis* para produção de frutos. 2019. 64 f. *Dissertação* (Mestrado) - Curso de Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2019. Cap. 1.

Cantarella, H. Calagem e adubação do milho. In: Büll, L. T., & Cantarella, H. (Ed.). *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: POTAFOS, 1993. 148-196.

Cantarella, H., & Marcelino, R. O uso de inibidor de urease para aumentar a eficiência da uréia. In: Simpósio sobre Informações Recentes para Otimização da Produção Agrícola, 2007, Anais... Piracicaba: *International Plant Nutrition Institute*, 2007. 1, 2-19

Carvalho, I. R., Nardino, M., Follmann, D. N., Pelegrin, A. J., Kavalco, S. A. F., Souza, V. Q. Análise de trilha e multivariada em milho submetido a diferentes tratamentos de sementes. *Tecnol. & Ciên. Agropec.*, João Pessoa, 10(1), 74-81.

Carvalho, I. R., Souza, V. Q., Nardino, M., Follmann, D. N., Schmidt, D., Baretta, D. Correlações canônicas entre caracteres morfológicos e componentes de produção em trigo de duplo propósito. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 50(8), 690-697, 2015.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Séries históricas, Brasília: Conab 2018. Recuperado de http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos.

Correa, A. M., & Gonçalves, M.C. Divergência genética em genótipos de feijão comum cultivados em Mato Grosso do Sul. *Rev. Ceres*, 59(2), 206-212.

Cruz, C. D., Regazzi, A. J., Carneiro, P. C. S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 1, 480, 2004.

Feitosa, F., et al. Análise de agrupamento em diferentes famílias de café arábica portadoras do gene Sh3 de resistência a *Hemileia vastatrix*. X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2019.

Ferreira, E. D. B., Stone, L. F., Partelli, F. L., Didonet, A. D. Produtividade do feijoeiro comum influenciada por plantas de cobertura e sistemas de manejo do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 15(7), 695-701, 2011.

Ferreira, L. L., Amaral, U., Silva, C. S., Curvelo, C. R. S., Pereira, A. I. A. Components of maize crop as a function of doses of polymerized urea. *Journal of Agricultural Science*, 11, 185-192.

Khattree, R., Naik, D. N. *Multivariate data reduction and discrimination with SAS software*. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc., 1, 558, 2000.

Koppen, W., Geiger, R. *Handbuch der Klimatologie*, Band 1, Teil C, C 42-43. Berlin: Gebrüder Bornträger 1936.

Kopper, C. V., Meert, L., Krenski, A., Borghi, W. A., de Oliveira Neto, A. M., Figueiredo, A. S. T. Características agronômicas e produtividade de milho segunda safra em função da velocidade de semeadura e população de plantas. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, Recife. 22.

Lopes, S. J., Dal, A., Lúcio, C., Storck, L., Damo, H. P., Brum, B., & dos Santos, V. J. Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. *Ciência Rural*, Santa Maria, 37(6), 1536-1542.

Menezes, M. J. T. Eficiência agronômica de fontes nitrogenadas e de associações de fertilizantes no processo de diferimento de *Brachiaria brizanta* cv. Marandu. 2004.113 f. *Dissertação* (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Nogueira, P. A. G., Zoz, T., Nunes, J. G. S., Filho, P. R. R., Venturini, G. C. *Correlação e análise de trilha de produtividade de grãos e seus componentes e caracteres de planta em*

milho. In: congresso de iniciação científica das faculdades integradas de ourinhos, 12, 2013, Ourinhos. Anais... Ourinhos: FIO/FEMM, 2013. p. 20. 2012.

Possamai, J. M., Souza de, C. M., Galvão, J. C. C. Sistemas de preparo do solo para o cultivo do milho safrinha. *Bragantia*, Campinas, 60(2), 79-82, 2001

Sangoi, L., Silva, P. R. F., Argenta, G., Rambo, L. Desenvolvimento e exigências climáticas da planta de milho para altos rendimentos. *Lages Graphel*, 2007. 95 p.

SEAB/DERAL. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento/Departamento de Economia Rural. 2018. Milho, análise de conjectura. Recuperado de <http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=240>.

Serrano, L. A. L., Marinho, C. S., Barroso, D. G., Carvalho, A. J. C. Sistema de blocos prensados e doses de adubo de liberação lenta na formação de porta-enxerto cítrico. *Ciência Rural*, 36(2), 441-447, 2006.

Silva, E. C., Silva, S. C., Buzetti, S., Tarsitano, M. A. A., Lazarini, E. *Análise econômica do estudo de níveis e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto em solo de cerrados*. In: congresso brasileiro de administração rural, 5, Goiânia, 2001. Anais... Goiânia, ABAR, 2001

Silva, E. M. S., Montanari, R.; Panosso, A. R.; Correa, A. R.; Tomaz, P. K.; Ferraudo, A. S. Variabilidade de atributos físicos e químicos do solo e produção de feijoeiro cultivado em sistema de cultivo mínimo com irrigação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(2), 598-607. (2015).

Singh, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 41(02), 237-245, 1981.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I. M.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Artmed Editora. 858p. 2017.

Varella, C. A. A., Carvalho Pinto, F. D. A., Costa, A. G., Silva, T.R. Predição de níveis de nitrogênio aplicados à cultura do milho utilizando imagens digitais. *Revista Engenharia na Agricultura-Reveng*, 27(3), 227-236. (2019).

Vian, A. L., Santi, A. L., Amado, T. J. C., Cherubin, M. R., Simon, D. H., Damian, J. M., Bredemeier, C. Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. *Ciência rural*, Santa Maria. 46(3), 464-471, 2016.

Vieira, L. V., Santos, C. M. G. *Estimulante vegetal no crescimento e desenvolvimento inicial do sistema radicular do algodoeiro em rizotrons*. In: V Congresso Brasileiro de Algodão, Salvador. Anais, EMBRAPA/CNPA. 2005. p. 1-3.

Vitti, G. C., Malavolta, E., Coltinho, E. L. M. *Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados e portadores de enxofre*. In. simpósio sobre fertilizantes na agricultura brasileira, 1984, Brasília, DF. Anais... Brasília, DF: EMBRAPA-DEP, 1984. 205-253. (EMBRAPA-DEP. Documentos, 14).

Wright, S. Correlation and causation. *Journal of Agricultural Research*, Washington, 20(7), 557-585, 1921.

Yamada, T. *Adubação nitrogenada do milho: quanto, como e quando aplicar*. Piracicaba: Potafos, 1996. 5 p. (Informações Agronômicas, 74)

Zanatto, I. B., Sponchiado, S., Teodoro, P. E., da Silva, K. J., de Menezes, C. B., Tardin, F. D. *Identificação de caracteres relacionados à precocidade e produtividade em híbridos de sorgo via correlações canônicas*. Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE). 2016.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Luiz Leonardo Ferreira – 10%

Ivo Frohlich Junior – 10%

Lucas Franco Machado – 10%

Sérgio Silva Ferreira – 10%

Ivan Ricardo Carvalho – 10%

Núbia Sousa Carrijo dos Santos – 10%

Marilaine de Sá Fernandes – 10%

Alexandre Igor de Azevedo Pereira – 10%

Carmen Rosa da Silva Curvêlo – 5%

Rodrigo Vieira da Silva – 5%

Uirá do Amaral – 5%

Ricardo de Andrade Silva – 5%