



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA
DOUTORADO EM AGRONOMIA: FITOTECNIA

CASSIANA FELIPE DE SOUZA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE
NITROGÊNIO POR CULTIVARES DE MILHO**

MOSSORÓ

2017

CASSIANA FELIPE DE SOUZA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE
NITROGÊNIO POR CULTIVARES DE MILHO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte das exigências para obtenção do grau de Doutora em Agronomia: Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Práticas Culturais

Orientador: Prof. Dr. LEILSON COSTA
GRANGEIRO

MOSSORÓ

2017

© Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S719d Souza, Cassiana Felipe de.

Desempenho agrônômico e eficiência de utilização de nitrogênio por cultivares de milho / Cassiana Felipe de Souza. - 2017.
50 f. : il.

Orientador: Leilson Costa Grangeiro.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, 2017.

1. Zea mays. 2. produtividade. 3. nutrição mineral. I. Grangeiro, Leilson Costa, orient. II. Título.

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

CASSIANA FELIPE DE SOUZA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE
NITROGÊNIO POR CULTIVARES DE MILHO**

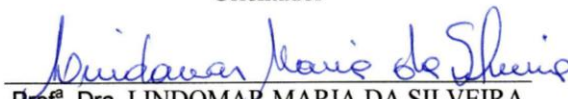
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte das exigências para obtenção do grau de Doutora em Agronomia: Fitotecnia.

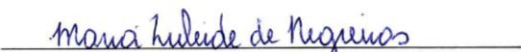
Linha de Pesquisa: Práticas Culturais

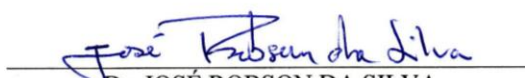
Defendida em: 22/02/2017.

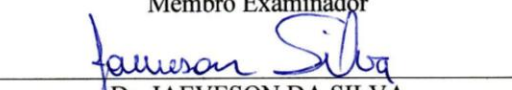
BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. LEILSON COSTA GRANGEIRO
UFERSA
Orientador


Prof.^a. Dra. LINDOMAR MARIA DA SILVEIRA
UFERSA
Membro Examinador


Prof.^a. Dra. MARIA ZULEIDE DE NEGREIROS
UFERSA
Membro Examinador


Dr. JOSÉ ROBSON DA SILVA
EMPARN
Membro Examinador


Dr. JAEVESON DA SILVA
EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA
Membro Examinador

Severina Pequeno de Souza Silva
Geraldo Monteiro Silvério
(In Memoriam)

João Miguel de Souza Lima
Filho amado!
(Dedico)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e pela capacidade de realizar mais um sonho. Em meio a tantas tempestades, tantas lutas, barreiras físicas e emocionais, Deus se fez presente, guiando e dando forças para persistir e nunca desistir;

Ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, pela oportunidade concedida em realizar o doutorado;

Ao CNPQ, pela concessão da bolsa de estudos;

Ao meu orientador, Leilson Costa Grangeiro, pelo conhecimento transmitido, compreensão, paciência, dedicação e orientação;

À Banca Examinadora, nas pessoas de Lindomar Maria, Maria Zuleide, José Robson e Jaeveson da Silva, pela contribuição dada para melhoria desse trabalho;

Aos amigos da equipe, Jorge, Jader, Jandeilson, Jardel, Irael Meirinha, Francisco Chagas, Daniela, Bruno, Gerlani, Fabrício, Priscila, Ricardo e ao inesquecível Dudu, pela ajuda sempre que necessária e pela companhia de dias maravilhosos e, em especial, a Valdívia, pela generosa contribuição em todo o experimento;

Aos trabalhadores da horta, pela ajuda nas atividades de campo, nas pessoas de Seu Antônio e Nanan;

Ao meu filho João Miguel, amor infinito, que veio de forma inesperada durante o doutorado, mudou todos os planejamentos e hoje é meu bem mais precioso. Mesmo tão pequeno, sem ao menos saber sua importância, foi fundamental para a concretização desse sonho;

À minha família, em especial a minha mãe Lenira Pequeno, pelo apoio, carinho, amizade e acima de tudo seu amor verdadeiro e sincero e ao meu companheiro Josildo;

Aos amigos potiguares que fiz durante essa caminhada: Sueldo, Seu Alberto, Zilmar, Jussara, Lucas, Samara, Vera, Cleonice, Arley, Dona Francisca, Zilmara, Zoraide, Fabrine, Magna, Francisca, Maximira, Tamires, Conceição, Diego, Leidiane, Lilia, Adailha e, em especial, à minha comadre Zoraneide Fernandes, por ter me abrigado como membro da sua família e me ajudado sempre que precisava;

Enfim, a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização desse trabalho.

Muito obrigada!

Oração do milho

Cora Coralina

Senhor, nada valho.
 Sou a planta humilde dos quintais pequenos e das lavouras pobres.
 Meu grão, perdido por acaso,
 Nasce e cresce na terra descuidada.
 Ponho folhas e haste e se me ajudardes, Senhor, mesmo planta
 De acaso, solitária,
 Dou espigas e devolvo em muitos grãos
 O grão perdido inicial, salvo por milagre, que a terra fecundou.
 Sou a planta primária da lavoura.
 Não me pertence a hierarquia tradicional do trigo
 E de mim não se faz o pão alvo universal.
 O Justo não me consagrou Pão de Vida, nem lugar me foi dado nos altares.
 Sou apenas o alimento forte e substancial dos que
 Trabalham a terra, onde não vinga o trigo nobre.
 Sou de origem obscura e de ascendência pobre,
 Alimento de rústicos e animais do jugo.
 Quando os deuses da Hélade corriam pelos bosques,
 Coroados de rosas e de espigas,
 Quando os hebreus iam em longas caravanas
 Buscar na terra do Egito o trigo dos faraós,
 Quando Rute respigava cantando nas searas do Boz
 E Jesus abençoava os trigais maduros,
 Eu era apenas o bró nativo das tabas ameríndias.
 Fui o angu pesado e constante do escravo na exaustão do eito.
 Sou a broa grosseira e modesta do pequeno sitiante.
 Sou a farinha econômica do proletário.
 Sou a polenta do imigrante e a miga dos que começam a vida em terra estranha.
 Alimento de porcos e do triste mu de carga.
 O que me planta não levanta comércio, nem vantagem dinheiro.
 Sou apenas a fartura generosa e despreocupada dos paióis.
 Sou o cocho abastecido donde rumina o gado.
 Sou o canto festivo dos galos na glória do dia que amanhece.
 Sou o cacarejo alegre das poedeiras à volta dos seus ninhos.
 Sou a pobreza vegetal agradecida a Vós, Senhor,
 Que me fizestes necessário e humilde.
 Sou o milho.

RESUMO

SOUZA, Cassiana Felipe de. **Desempenho agrônomo e eficiência de utilização de nitrogênio por cultivares de milho**. 2017. 51f. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2017.

O milho possui importante papel na economia e desenvolvimento social e cultural de várias regiões do Brasil. No entanto, a produtividade é considerada baixa, sendo o manejo da adubação nitrogenada e a seleção de cultivares eficientes no uso do nitrogênio os principais fatores responsáveis pela baixa produtividade desta cultura. Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar o desempenho agrônomo e a eficiência do uso de nitrogênio por cultivares de milho para produção de espigas verdes e de grãos. Foram conduzidos dois experimentos, um para obtenção do milho verde e outro para milho grão, ambos na horta didática do Departamento de Ciências Vegetais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), no município de Mossoró-RN. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 3, com cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de duas doses de nitrogênio (0 e 90 kg ha⁻¹) e três cultivares de milho (variedade Cruzeta, transgênico Truck e o híbrido AG 1051). Para o milho verde, foram avaliados: altura da planta e da inserção da espiga, diâmetro do colmo, massa seca da planta, acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio, a produtividade de espigas verdes com palha e sem palha e os índices de eficiência do N. No milho grão, avaliaram-se a massa seca da planta, acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio, a produtividade de grãos e os índices de eficiência do N. Em ambos os experimentos, as cultivares apresentaram maior desempenho produtivo quando adubadas com nitrogênio e o híbrido AG 1051 foi o mais eficiente quanto ao uso do nitrogênio. As cultivares AG 1051 e Cruzeta apresentaram as maiores alturas de planta e de inserção da primeira espiga, e a cultivar Truck apresentou a maior prolificidade e número de folhas. Os maiores acúmulos de massa seca e de NPK foram observados nas cultivares AG 1051 e Cruzeta. As folhas e os grãos acumularam mais nitrogênio, ao passo que o caule e o sabugo acumularam mais K. A cultivar Truck foi a mais indicada para produção de milho verde.

Palavras-chave: *Zea mays*, produtividade, nutrição mineral.

ABSTRACT

SOUZA, Cassiana Felipe de. **Agronomic performance and efficiency of nitrogen use by corn cultivars**. 2017. 51p. Thesis (Doctorate in Agriculture: Phytotecny) – Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2017.

Corn plays an important role in the social and cultural economy and development of several regions of Brazil. However, the productivity is considered low, being the management of nitrogen fertilization and selection of efficient cultivars in the use of nitrogen the main factors responsible for the low productivity of this crop. Thus, the objective of this work was to analyze the agronomic performance and efficiency of nitrogen use by corn cultivars for the production of green ears and grains. Two experiments were carried out, one to obtain green maize and another to corn grain, both in the didactic garden of the Department of Plant Sciences of the Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA), in the municipality of Mossoró-RN. The experimental design was in randomized blocks in a 2 x 3 factorial scheme, with five replications. The treatments consisted of the combination of two nitrogen doses (0 and 90 kg ha⁻¹) and three corn cultivars (Cruzeta variety, Truck transgenic and AG 1051 hybrid). For green maize, we evaluated plant height and stem insertion, shoot diameter, dry mass of the plant, nitrogen, phosphorus and potassium accumulation, yield of green ears with straw and without straw and N efficiency indexes. For grain maize, we evaluated dry matter of the plant, nitrogen, phosphorus and potassium accumulation, grain yield and N efficiency indexes. In both experiments, the cultivars presented higher productive performance when fertilized with nitrogen and The AG 1051 hybrid was the most efficient in the use of nitrogen. The cultivars AG 1051 and Cruzeta presented the highest plant height and first spike insertion, and the cultivar Truck presented the highest leaf number and productivity. The highest accumulations of dry mass and NPK were observed in cultivars AG 1051 and Cruzeta. The leaves and the grains accumulated more nitrogen, whereas the stem and the cob accumulated more K. The cultivar Truck was the most indicated for the production of green corn.

Keywords: *Zea mays*, productivity, mineral nutrition.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos do solo antes da implantação do experimento, avaliados na camada de 0 a 40 cm. Mossoró, RN. 2016.	23
Tabela 2. Características das cultivares avaliadas nos experimentos. Mossoró/RN. UFERSA, 2016.	24
Tabela 3. Resumo da análise de variância das características altura da planta (AP), altura da inserção da primeira espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), prolificidade (PROL), número de folhas (NUF), massa seca da folha (MSF), do caule (MSC) e de grãos verdes (MSG), acúmulos de nitrogênio na folha (NF), no caule (NC) e no grão verde (NG), acúmulos de fósforo na folha (PF), no caule (PC) e no grão verde (PG), acúmulos de potássio na folha (KF), no caule (KC) e no grão verde (KG) na cultura do milho verde. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.	29
Tabela 4. Valores médios referentes à altura da planta (AP), altura da inserção da primeira espiga (AIE), massa seca do caule (MSC), acúmulo de nitrogênio na folha (NF) e no caule (NC), e acúmulo de fósforo no caule (PC) em função das cultivares e doses de N, na cultura do milho verde. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.	30
Tabela 5. Valores médios referentes ao diâmetro do colmo (DC), prolificidade (PROL), número de folhas (NUF), massa seca da folha (MSF) e de grãos verdes (MSG), acúmulo de nitrogênio no grão verde (NG), acúmulos de fósforo na folha (PF) e no grão verde (PG), acúmulos de potássio na folha (KF), no caule (KC) e no grão verde (KG), em função das cultivares e das doses de N, na cultura do milho verde. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.	32
Tabela 6. Resumo da análise de variância das características número total de espiga (NTE), de espigas empalhadas comerciais (NEEC) e de espigas despalhadas comerciais (NEDC), produtividade total de espiga (PTE), de espigas empalhadas comerciais (PEEC) e de espigas despalhadas comerciais (PEDC), na cultura do milho verde. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.	34
Tabela 7. Valores médios referentes ao número total de espiga (NTE), de espigas empalhadas comerciais (NEEC) e de espigas despalhadas comerciais (NEDC), peso total de espiga (PTE), de espigas empalhadas comerciais (PEEC) e de espigas despalhadas comerciais (PEDC), em função das cultivares e dos níveis de N, na cultura do milho. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.	35
Tabela 8. Resumo da análise de variância das eficiências agrônômica (EA), fisiológica (EF), da produção de espiga (EPE), de recuperação (ER) e de utilização (EU), na cultura do milho verde. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.	36
Tabela 9. Valores médios referentes às eficiências agrônômica (EA), fisiológica (EF), da produção de espiga (EPE), de recuperação (ER) e de utilização (EU), na cultura do milho verde. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.	36
Tabela 10. Resumo da análise de variância das características massa seca da folha (MSF), do caule (MSC), do sabugo (MSS), de grãos (MSG) e total (MST), acúmulos de nitrogênio na folha (NF), no caule (NC), no sabugo (NS) e no grão (NG), acúmulos de fósforo na folha (PF), no caule (PC), no sabugo (PS) e no grão (PG), acúmulos de potássio na folha (KF), no caule (KC), no sabugo (KS) e no grão (KG) e produtividade (PROD), na cultura do milho. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.	38

Tabela 11. Valores médios referentes à massa seca da folha (MSF), do caule (MSC), do sabugo (MSS) e total (MST), acúmulos de nitrogênio na folha (NF), no caule (NC), e total (NT), acúmulos de fósforo na folha (PF), no caule (PC), no sabugo (PS) e total (PT), acúmulos de potássio na folha (KF), no caule (KC), no sabugo (KS), no grão (KG) e total (KT) e produtividade (PROD), em função das cultivares e das doses de N, na cultura do milho. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.....	39
Tabela 12. Valores médios referentes à massa seca do grão (MSG), acúmulo de nitrogênio no sabugo (NS) e no grão (NG) e acúmulo de fósforo no grão (PG) em função das cultivares e doses de N, na cultura do milho. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.	42
Tabela 13. Resumo da análise de variância das eficiências agrônômica (EA), fisiológica (EF), da produção de grãos (EPG), de recuperação (ER) e de utilização (EU), na cultura do milho. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.	43
Tabela 14. Valores médios referentes as eficiências agrônômica (EA), fisiológica (EF), da produção de grãos (EPG), de recuperação (ER) e de utilização (EU), na cultura do milho. Mossoró/RN. UFERSA, 2017	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 Generalidades da cultura do milho	15
2.2 Cultivo de milho grão	16
2.3 Cultivo de milho verde	17
2.4 Eficiência de utilização de nitrogênio.....	19
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 Localização e caracterização da área experimental	23
3.2 Tratamentos e delineamento experimental	23
3.3 Experimento I – Milho verde.....	24
3.3.1 Condução do experimento.....	24
3.3.2 Características avaliadas	25
3.4 Experimento II – Milho grão	26
3.4.2 Características avaliadas	26
3.5 Análises estatísticas	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1 Experimento I – Milho Verde.....	28
4.1.1 Crescimento e acúmulo de nutrientes.....	28
4.1.2 Número e produtividade de espigas verdes.....	34
4.1.3 Índices de eficiência nutricional.....	36
4.2 Experimento II – Milho Grão	37
4.2.1. Produção de matéria seca, acúmulo de nutrientes e produtividade.....	37
4.2.2. Índices de eficiência nutricional.....	43
5.CONCLUSÕES.....	45
6. REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é o cereal mais cultivado no mundo, tendo como maiores produtores os Estados Unidos, China e Brasil (FAO, 2015). Apresenta grande importância econômica, devido ao seu alto potencial produtivo, composição química e valor nutricional de seus grãos, bem como às diversas formas de utilização na alimentação humana e animal, *in natura* e como fonte de matéria-prima para a indústria, ocupando nos países tropicais 50% da área cultivada com grãos (MEIRA et al., 2009; CARVALHO et al., 2011a; SOUZA et al., 2012).

No Brasil, o milho possui importante papel na economia e desenvolvimento social e cultural de várias regiões do país, se caracterizando como uma das principais alternativas para o agricultor devido à sua capacidade de geração de emprego e renda (FIDELIS et al., 2007; SOUZA et al., 2012; SILVA et al., 2014b). É comercializado principalmente na forma de grão, porém, na região Nordeste do país, devido ao maior retorno financeiro, a produção de espigas verdes tem se tornado uma atividade promissora, sendo cultivado durante o ano todo, desde que satisfeitas as exigências hídricas da cultura. Além disso, o milho para consumo verde é considerado alimento altamente nutritivo e de baixo custo (AGUIAR et al., 2012).

No entanto, a produtividade do milho no Brasil, seja ele em grão ou para consumo verde, é considerada baixa (MEIRA et al., 2009), e entre os principais fatores responsáveis pela baixa produtividade desta cultura se destacam o manejo incorreto da adubação nitrogenada e a escolha errônea de cultivares quanto à capacidade de absorver e utilizar o nitrogênio de forma eficiente.

O nitrogênio (N) caracteriza-se como o nutriente mais exigido em quantidade pela cultura do milho (FARINELLI; LEMOS, 2010). Na planta, o N atua participando nas moléculas de compostos orgânicos, como os aminoácidos e proteínas, sendo ainda ativador de enzimas para realização de processos vitais da planta (metabolismo primário), como síntese de proteína, absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular (OKUMURA et al., 2011). Logo, o N determina o desenvolvimento das plantas de milho, com aumento significativo na área foliar e na produção de massa seca, resultando em maior produtividade de grãos (SORATTO et al., 2011).

Contudo, por ser o elemento que mais onera a cultura do milho, o alto custo da adubação nitrogenada tem dificultado sua aplicação adequada pela maioria dos produtores (FIDELIS et al., 2007). Assim, tem se procurado diminuir as perdas do nitrogênio no solo, bem como melhorar sua absorção e a metabolização no interior da planta (CANCELLIER et

al., 2011), visto que os desperdícios e a escassez do nitrogênio podem gerar problemas econômicos, ambientais, de saúde pública e de segurança alimentar (CARVALHO et al., 2012).

Sabendo-se disso e de que a exigência do N pela cultura do milho aumenta quando se espera obter maiores índices de produtividade. Para se chegar a altos níveis de produtividade, é necessária a escolha correta do genótipo que apresente melhor resposta, ou seja, o genótipo mais eficiente quanto ao uso do nitrogênio. A seleção de genótipos com maior eficiência na utilização de nitrogênio é considerada uma das maneiras mais adequadas de diminuir o custo de produção da cultura do milho, apresentando-se como opção economicamente viável e ecologicamente sustentável para garantir maior produtividade em sistemas agrícolas com baixa utilização de insumos, minimizar as perdas e reduzir a contaminação do meio ambiente (FIDELIS et al., 2007; CANCELLIER et al., 2011).

Em geral, a eficiência nutricional expressa a relação entre produção obtida e insumos aplicados (FAGERIA, 1998). Acredita-se que a eficiência nutricional seja um caráter complexo dependente de vários processos fisiológicos, tais como absorção, assimilação e retranslocação do nitrogênio pela planta, e o seu melhor entendimento poderá colaborar com possíveis soluções para problemas associadas à falta e ao excesso de nitrogênio na agricultura (CARVALHO et al., 2012), visto que os diversos híbridos e variedades de milho requerem quantidades diferentes de N, de acordo com seu potencial produtivo (FERNANDES et al., 2005). Dessa forma, é necessário identificar cultivares que possuem capacidade de absorver e utilizar o nitrogênio de modo eficiente, aumentando a eficiência de uso do adubo nitrogenado e incrementando a produção do milho.

Diante do exposto, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho agrônômico e a eficiência do uso de nitrogênio por cultivares de milho para produção de grãos e de milho verde.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Generalidades da cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.), pertencente à família das Poáceas (antiga família das gramíneas), provavelmente tem origem americana, com os primeiros registros datando cerca de 7.300 anos, sendo encontrado em pequenas ilhas próximas ao litoral mexicano. Para alguns cientistas, o milho foi originário do Teosinte (*Zea mexicana* L.), uma gramínea anual originária do México e da Guatemala, por meio de seleção feita pelo homem, mas outros defendem a hipótese de que o milho e o Teosinte diferenciam-se há mais tempo de um ancestral comum.

Logo depois do descobrimento, o milho foi levado para a Europa, onde foi cultivado em jardins até que seu valor alimentício tornou-se conhecido (OKUMURA et al., 2011). Atualmente, devido à sua alta adaptabilidade a diversas condições de cultivo, em virtude da grande variedade de genótipos existentes, é cultivado em todos os continentes e sua produção mundial só perde para a do trigo e a do arroz (PEIXOTO, 2002; SILVA, 2013b).

Com ampla diversidade de uso, o milho é um dos alimentos mais nutritivos que existem. Puro ou como ingredientes de outros produtos, é uma importante fonte energética. Ao contrário do trigo e do arroz, refinados durante seus processos de industrialização, o milho conserva sua casca, que é rica em fibras, fundamental para a eliminação das toxinas do organismo humano. Além das fibras, o grão de milho contém em média 60% de carboidratos, 10% de proteína, 4% de lipídios, o restante de minerais (ferro, fósforo, potássio, cálcio) e vitaminas (A e complexo B) (OKUMURA et al., 2011).

De grande versatilidade, o milho na alimentação humana pode ser consumido *in natura* ou como principal matéria prima de vários pratos culinários, como cuscuz, polenta, angu, bolos, canjicas, mingaus, cremes, dentre outros. Os benefícios na nutrição são, principalmente, regulação do intestino, prevenção da prisão de ventre, redução dos níveis de colesterol, controle do açúcar no sangue, prevenção de problemas cardíacos e retardamento do envelhecimento.

Na indústria, o milho pode ser transformado em vários subprodutos. O óleo pode ser usado diretamente no consumo humano ou transformado em margarina, maionese, etc. O amido pode sofrer várias transformações, podendo ser transformado em dextrina, que será usada em adesivos, xaropes, etc. ou na forma de dextrose, que será utilizada em enlatados, ou

ainda na forma de frutose, como principal adoçante da indústria de doces e bebidas (ABIMILHO, 2017).

Recentemente, o milho também vem sendo utilizado na forma de polímeros biodegradáveis na indústria de embalagens e automobilística. Nos Estados Unidos, o milho hoje é encontrado em quase todos os produtos: biscoitos, cosméticos como batons e cremes, sorvetes, balas, roupas, revistas, pasta de dentes, tintas, remédios, material escolar como lápis, alimentos em geral, como salgadinhos, etc. (PEIXOTO, 2002; ABIMILHO, 2017).

Contudo, a maior parte da produção do milho é destinada à alimentação animal, onde o grão é utilizado como o maior componente de rações de aves e suínos. Na bovinocultura, é utilizado como forma de volumoso, podendo ser utilizado na forma de silagem de grão úmido ou de planta inteira

2.2 Cultivo de milho grão

Atualmente, o maior produtor de milho grão são os Estados Unidos, com uma estimativa de produção de aproximadamente 386,74 milhões de toneladas de milho. Depois vem a China, com uma produção estimada de 216 milhões de toneladas e o Brasil ocupa a terceira posição, com 83,88 milhões de toneladas. No Brasil, com área cultivada de 16.515,5 milhões de hectares, o milho ocupa a maior área cultivada no país e se destaca como o grão de maior volume produzido, respondendo pelo segundo maior valor da produção, superado apenas pela soja. O estado do Mato Grosso é o maior produtor nacional, ocupando 3.800,2 milhões de hectares, seguido pelo estado do Paraná (ARAÚJO JÚNIOR, 2010; CONAB, 2017).

A importância econômica do milho grão é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que vai desde a alimentação animal, como forragem conservada para o período de seca e na fabricação de farelos, até a indústria química, como matéria prima de mais de 500 produtos, e alimentícia, como amido, farinhas e óleo, etc., sendo o cereal mais produzido no mundo, com 27,6% do total (CAZETA, 2010; OKUMURA et al., 2011). A alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, isto é, cerca de 70% no mundo. Nos Estados Unidos, cerca de 50% são destinados a esse fim, ao passo que no Brasil varia de 60 a 80%, dependendo da fonte da estimativa e de ano para ano (CAZETA, 2010; GALVÃO, 2014).

Apesar de ocupar a 2ª maior área cultivada, ser responsável pela 2ª maior produção de grãos e ser uma cultura associada ao uso de alta tecnologia, e com potencial para produzir

acima de 16 toneladas por hectares, a produtividade média de milho no país é considerada baixa (5.110 kg ha^{-1}). Na região Nordeste, a produtividade média é ainda menor (2.262 kg ha^{-1}), sendo que no estado do Rio Grande do Norte essa produtividade é de apenas 448 kg ha^{-1} (MONTEIRO et al., 2000; CONAB, 2017). No entanto, o Rio Grande do Norte possui áreas com potencial para a exploração desta cultura, onde a cultura destaca-se como uma das mais importantes para a região.

Essa baixa produtividade se deve ao fato que 43% da área cultivada com o grão no país são destinados à subsistência, ou seja, os agricultores utilizam baixa tecnologia, sendo que apenas 11% dos agricultores fazem uso de alta tecnologia para produção (OKUMURA et al., 2011). Isso demonstra subaproveitamento do potencial genético das cultivares disponíveis no mercado. Outros fatores contribuem para a obtenção das baixas produtividades de grãos, destacando-se o uso de cultivares com potencial produtivo limitado e/ou não adaptados a um determinado ambiente de produção, utilização de duas épocas de semeadura e arranjo de plantas inadequados, deficiências na disponibilidade e na utilização de nutrientes, especialmente do N, e da água durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, além do controle deficiente de insetos-praga, moléstias e plantas invasoras (CAZETA, 2010). A falta de assistência técnica e a dificuldade em obtenção de crédito bancário também são apontadas como as principais causas da baixa produtividade (PORTO, 2010).

Por outro lado, altas produtividades no milho podem ser garantidas pela adaptação de cultivares as mais variadas situações de clima e solo, pelo melhoramento genético, pela melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos cultivados, além de adoção de práticas culturais, tais como a utilização de fertilizantes, principalmente os nitrogenados (OKUMURA et al., 2011).

A disponibilidade de nitrogênio no solo influencia a produtividade de grãos de milho durante todo o ciclo de desenvolvimento da planta. Este fato ocorre em virtude da sua importância no metabolismo das plantas, com reflexos na produtividade, posto que a cultura é exigente, em média, de $23,8 \text{ kg}$ de N para cada tonelada de grãos (SCHIAVINATTI et al., 2011). No entanto, o suprimento inadequado de nitrogênio pode causar a limitação da produtividade do milho, além de ocasionar contaminação ambiental e elevar os custos.

2.3 Cultivo de milho verde

O milho no estado verde sempre foi consumido no Brasil e hoje é comum a comercialização tanto do milho verde como de seus produtos durante o ano todo, nos

principais centros consumidores. Por ser um produto de boa aceitação e alto valor agregado, costuma atingir melhores preços de mercado que o milho em grão, sendo cultivado muitas vezes em consórcio com outras culturas, a exemplo do feijão. Mesmo em pequena escala, é uma alternativa viável para pequenos produtores, principais responsáveis pela colocação do produto no mercado porque, além de possibilitar maior retorno de capital por área plantada, permite o aproveitamento das plantas do milho e do restante das espigas não comercializáveis que ficam na área para alimentação de gado, além de favorecer a liberação mais cedo da área para outros cultivos (SILVA, 2013a; GALVÃO, 2014).

Os três maiores produtores de milho verde nacional são os estados de São Paulo, Pernambuco e Minas Gerais. Na região Nordeste, a cultura do milho é explorada em todos os estados, e no estado Rio Grande do Norte o milho é cultivado em todos os municípios para obtenção de espigas verdes ou grãos secos (MOREIRA, 2007). Contudo, o rendimento médio da cultura nesse Estado é extremamente baixo (GALVÃO, 2014).

Para produção do milho verde, é altamente desejável obter elevada porcentagem de espigas comerciais com elevado peso, uma vez que a comercialização também é feita com base nesses atributos. Espigas maiores que 15 cm de comprimento e 3 cm de diâmetro são padrões para as espigas serem consideradas comerciais.

Outros critérios importantes a considerar na escolha de cultivares para produção de milho verde são porte médio da planta; planta resistente ao acamamento; espiga com bom empalhamento, longas e cilíndricas; pedúnculo firme; sabugo grosso, claro e cilíndrico; grãos amarelo-claros, grandes e uniformes; grãos com equilíbrio entre os teores de açúcar e amido, para a confecção de guloseimas de milho verde; o pericarpo deve apresentar-se fino, pois a espessura do pericarpo afeta a maciez do grão: quanto mais fina, melhor a qualidade do milho verde, sendo muito importante para o milho cozido, assim como a textura dos grãos deve ser uniforme, além de maior longevidade de colheita, sendo o período de colheita determinado pelo número de dias decorridos entre o estágio leitoso dos grãos (início do ponto de milho verde) e o estágio pastoso dos grãos (final do ponto de milho verde) e resistência a doenças e pragas de espigas (ALBUQUERQUE et al., 2008; CASTRO, 2010; GALVÃO, 2014).

Conforme Nascimento (2012), o consumidor final do milho verde dá preferência a espigas de maior diâmetro e maior comprimento, sendo as espigas mais finas e menores geralmente rejeitadas, permanecendo por um período de tempo prolongado nos estabelecimentos comerciais, o que favorece sua deterioração. Outros aspectos importantes a serem considerados na escolha de cultivares para produção de milho verde são o empalhamento das espigas e a coloração do grão. Existe uma preferência por cultivares que

apresentam espigas bem empalhadas de coloração verde intensa, o que deixa o produto menos susceptível ao ataque de pragas, além de auxiliar na sua conservação (ALBUQUERQUE et al., 2008).

Outro aspecto importante na produção de milho verde é o rendimento: nem sempre as melhores cultivares para a produção de milho verde são as melhores para a produção de grãos (CASTRO, 2010). No entanto, a disponibilidade de cultivares destinadas a esse segmento de mercado cada vez mais exigente e promissor ainda é escassa (AGUIAR et al., 2012), tornando-se necessário também o desenvolvimento de cultivares que sejam eficientes quanto à utilização de nitrogênio (N), uma vez que este é um dos principais nutrientes para o desenvolvimento da cultura, sendo exigido em maior quantidade.

2.4 Eficiência de utilização de nitrogênio

O nitrogênio (N) influencia positivamente no rendimento e na produtividade de grãos da cultura do milho. Além de ser o mais caro dos nutrientes, é também o mais requerido em termos de quantidade (NUNES, 2006).

Na planta, o N exerce importante função nos processos bioquímicos, sendo constituinte de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucléicos, fitocromos e integrando a molécula da clorofila. Além disso, afeta as taxas de iniciação e expansão foliar, o tamanho final e a intensidade de senescência das folhas, o desenvolvimento da área foliar e a taxa de fotossíntese, o crescimento radicular, o rendimento biológico, o tamanho de espigas, o número, a massa de grãos e índice de espiga, a altura de planta, o comprimento da espiga, o diâmetro de colmo, a inserção de espiga, o número de plantas acamadas e quebradas e a qualidade de grãos (CARVALHO, 2008; SILVA, 2013b).

Na ausência do nitrogênio, sobretudo nos estados fenológicos iniciais do milho, o rendimento final da cultura é comprometido porque a absorção do N é mais acentuada no período de crescimento vegetativo (entre os 25 e 40 dias), quando a planta chega a acumular cerca de 43% de suas exigências. Antes do florescimento, o estresse de nitrogênio retarda a divisão celular nos pontos de crescimento, o que resulta em redução da área foliar, da taxa fotossintética, do número de grãos potenciais e do tamanho da planta. Isso porque entre as fases de crescimento pleno (8 a 10 folhas) e pendoamento, a planta ainda absorverá mais 31% de suas necessidades totais. Durante o enchimento dos grãos, a carência desse nutriente acelera a senescência das folhas, reduzindo a fotossíntese da cultura e o peso de grãos. Assim,

é importante a adequada disponibilidade de N durante todo o ciclo da cultura (CARVALHO, 2008, NUNES, 2006).

As principais formas de nitrogênio disponíveis para as plantas são amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-), as quais representam menos de 2% do nitrogênio total do solo (COELHO; FRANÇA, 1995). Assim, o milho, por remover grandes quantidades de nitrogênio, requer o uso de adubação nitrogenada em cobertura para complementar a quantidade suprida pelo solo. O N é predominantemente derivado de fertilizantes, fixação biológica de N_2 , mineralização do N orgânico de esterco animal, resíduos de culturas e matéria orgânica do solo.

Sabe-se que a exigência do N pela cultura do milho aumenta quando se espera obter maiores índices de produtividade, e usualmente as recomendações atuais para a adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho de sequeiro, de modo geral, variam de 40 a 70 kg de N/ha. Em agricultura irrigada, onde prevalece o uso de alta tecnologia, esta recomendação seria insuficiente para a obtenção de elevadas produtividades. Nestas condições, doses de nitrogênio variando de 100 a 200 kg/ha podem ser necessárias para obtenção de elevadas produtividades (COELHO; FRANÇA, 1995).

A necessidade de nitrogênio para a produção de uma tonelada de grãos de milho varia de 20 a 28 kg de N/ha, sendo que as doses de N para suprir esta demanda variam em função, especialmente, do ambiente e da rotação de cultura. No início do ciclo, normalmente, o suprimento de N excede a demanda da cultura. Na medida em que a planta se desenvolve, o nitrogênio é absorvido do solo, no qual sua mineralização é menor que 1 kg de N/ha/dia, sendo que a cultura do milho é capaz de absorver 4 a 5 kg de N/ha/dia (CARVALHO, 2008). Isto equivale a dizer que, com o decorrer do ciclo da cultura, haverá esgotamento do nitrogênio do solo e, conseqüentemente, a planta estará sob estresse de N.

No entanto, as fontes de N são bastante caras, o que leva muitos agricultores a não aplicá-los em níveis exigidos pela planta, o que colabora para os baixos níveis de produtividade (NUNES, 2006).

Além disso, sua utilização também pode causar prejuízos ambientais, por apresentar elevado custo energético para sua produção e por ser passível de contaminação de águas superficiais e subterrâneas por nitrato, em virtude de perdas por erosão e lixiviação (CAZETA, 2010). Dessa forma, uma alternativa para diminuir o impacto da deficiência de nitrogênio disponível no solo é selecionar genótipos superiores no uso eficiente desse nutriente (NUNES, 2006; SANTOS; FAGERIA, 2007).

Estudos já vêm sendo conduzidos para encontrar cultivares apropriadas para ambientes pobres em nitrogênio (N), e caminhos possíveis para aumentar a eficiência de uso do nitrogênio (EUN) já são apontados. O uso de dose adequada e aplicação na época apropriada, de acordo com resultados de pesquisa e com a necessidade da cultura e o emprego do melhoramento genético a fim de descobrir cultivares eficientes na absorção e utilização de N, são algumas das possíveis alternativas (MAJEROWICZ et al., 2002; FAGERIA, 1998).

A eficiência nutricional, de maneira geral, pode ser definida como a quantidade de matéria seca ou grãos produzidos por unidade de nutriente aplicado (FAGERIA, 1998). A eficiência da utilização do nitrogênio adicionado ao solo, por sua vez, se refere ao grau de recuperação desse elemento pelas plantas, considerando as perdas que geralmente ocorrem (BREDEMEIER; MUNDSTOCK2000). A eficiência nutricional é dependente de vários processos fisiológicos, tais como absorção, assimilação e retranslocação do nitrogênio pela planta (MOLL et al., 1982; CARVALHO, 2008) e pode ser aumentada com a adoção de práticas de manejo apropriadas.

Conforme Fidelis et al. (2007), a identificação de genótipos capazes de absorver e utilizar o nitrogênio de forma eficiente é uma forma de aumentar a eficiência de uso do adubo nitrogenado na cultura do milho, incrementar a produção, minimizar as perdas e reduzir a contaminação do meio ambiente. Entretanto, a melhor eficiência nutricional é aquela obtida sob nível de nutriente adequado em que a produtividade máxima foi obtida, visto que a eficiência nutricional diminui com níveis crescentes de um nutriente, devido ao suprimento desse nutriente exceder as necessidades da cultura (FAGERIA, 1998). Como foi comprovado por outros autores (FERNANDES et al., 2005; FARINELLI; LEMOS, 2010), a eficiência do uso de nitrogênio de todos os híbridos diminuiu quando se aumentou a dose de N aplicada.

A eficiência do uso do nitrogênio geralmente é avaliada em dois níveis de disponibilidade de nutrientes: alto e baixo. E para que não haja erros na interpretação dos resultados, a avaliação da eficiência deve estar relacionada à parte da planta de interesse econômico, evitando-se seleção de plantas com alta eficiência de absorção e baixa produção econômica (CARVALHO, 2008).

Respostas diferentes entre os híbridos de milho quanto ao nitrogênio podem existir, isto é, numa mesma dose de nitrogênio alguns híbridos de milho podem responder melhor do que outros. Assim, são de fundamental importância a identificação e procura por genótipos que apresentem melhor resposta, que seja mais eficiente quanto ao uso do nitrogênio, o que se fundamenta tanto na questão econômica quanto ambiental (CANCELLIER et al., 2011).

Assim, torna-se necessário o conhecimento da relação entre os caracteres envolvidos na eficiência nutricional, e que estes sejam passíveis de mensuração em estádios precoces de desenvolvimento, permitindo descartar de imediato os genótipos menos promissores. Porém, dados sobre a influência desses caracteres na eficiência do uso do nitrogênio ainda são escassos e o conhecimento dessas informações será importante para orientar o método e a cultivar mais adequada a ser utilizada (DoVale et al., 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

Foram conduzidos dois experimentos com a cultura do milho, um para a obtenção do milho verde e outro para a de grãos, ambos na Horta Didática do Departamento de Ciências Vegetais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), no município de Mossoró-RN (5° 11'' de latitude sul e 37° 20'' de longitude oeste, com 18 m de altitude). O clima da região, segundo Thornthwaite, é semiárido, e de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo BSw^h, quente e seco; com precipitação pluviométrica média anual de 673,9 mm; temperatura média de 27°C e umidade relativa do ar média de 68,9%, com duas estações climáticas: uma seca, que vai geralmente de junho a janeiro, e uma chuvosa, de fevereiro a maio (CARMO FILHO et al.,1995).

O solo das áreas experimentais foi classificado como Argissolo Vermelho – Amarelo Eutrófico (EMBRAPA, 2009). Dessas áreas, que apresentavam histórico de plantio direto, foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m para análises químicas (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos do solo antes da implantação do experimento, avaliados na camada de 0 a 40 cm. Mossoró, RN. 2016.

Profundidade (cm)	N (kg/ha)	MO (%)	-----mg/dm ³ -----			-----cmol _c /dm ³ ---		pH	CE dS/m
			K	P	Na	Ca	Mg		
0-20	1,27	1,28	205,40	210,83	78,4	3,09	1,26	7,51	0,13
20-40	1,69	1,07	214,23	207,06	83,28	2,95	1,59	7,43	0,14

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos, para ambos os experimentos, foram constituídos pela combinação de duas doses de nitrogênio (0 e 90 kg ha⁻¹) e três cultivares de milho (Cruzeta, Truck e AG 1051). O delineamento experimental utilizado, em ambos os experimentos, foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 3, com cinco repetições. Cada parcela experimental foi constituída por três fileiras de 3 m de comprimento, espaçadas a 0,8 m entre si, contendo 10 plantas em cada linha, sendo considerada como área útil a fileira central, descartando-se uma planta em cada extremidade, totalizando 1,92 m² de área útil da parcela e 7,20 m² de área total.

As duas doses de nitrogênio foram utilizadas para avaliar a eficiência de uso de N pelas cultivares de milho, onde a dose “0” correspondeu ao teor de N do solo (Nível baixo) e o de 90 kg ha⁻¹ (Nível alto), recomendada para milho, segundo Cavalcanti (1998).

As cultivares de milho foram selecionadas dentre aquelas utilizadas na região, com dupla finalidade: produção de milho verde e milho grão (Tabela 2).

Tabela 2. Características das cultivares avaliadas nos experimentos. Mossoró/RN. UFERSA, 2016.

Cultivar	Tipo do cultivar	Ciclo	Tipo do grão	Cor do grão	Empresa
Cruzeta	Variedade	Superprecoce	Semidentado	Alaranjado	EMPARN
Truck	Híbrido triplo transgênico	Precoce	Semiduro	Alaranjado	Syngenta
AG 1051	Híbrido duplo	Semiprecoce	Dentado	Amarelo	Agrocereis

3.3 Experimento I – Milho verde

3.3.1 Condução do experimento

O preparo do solo foi realizado com uma aração e uma gradagem, seguido da abertura dos sulcos com aproximadamente 0,20 m de profundidade para adubação de plantio, com base na análise do solo e na recomendação de Cavalcanti (1998) para milho, sendo aplicado: 30 kg ha⁻¹ de N (tratamento com N); 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 40 kg ha⁻¹ de K₂O; 1,0 kg ha⁻¹ de B e 3,0 kg ha⁻¹ de Zn, sendo as fontes utilizadas ureia, superfosfato triplo, cloreto de potássio, ácido bórico e sulfato de zinco, respectivamente. Em cobertura, no tratamento com N, foram aplicados 30 kg ha⁻¹ de N aos 15 dias após a semeadura (DAS) e 30 kg ha⁻¹ de N quando a planta apresentou oito folhas definitivas.

A semeadura foi realizada no dia 02/02/2015, com três sementes por cova, no espaçamento 0,8 x 0,3 m, e quando as plantas apresentaram quatro folhas definitivas (9 DAS) realizou-se o desbaste, deixando uma planta por cova.

Quando necessário, foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento, com emissores espaçados de 0,3 m e vazão de 1,4 L h⁻¹, visto que durante o período de implantação do experimento a precipitação pluviométrica foi suficiente para a condução do experimento.

O controle de plantas daninhas, quando necessário, foi realizado por meio de capina manual. Foram realizadas quatro pulverizações utilizando-se os inseticidas Decis[®] (200 ml ha⁻¹) e Premio[®] (100 ml ha⁻¹) para o controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith).

A colheita do milho verde foi realizada manualmente no estágio fenológico R3 (grãos leitosos) aos 70 dias após o plantio (DAP).

3.3.2 Características avaliadas

- Altura de plantas, inserção da espiga, número de folhas e diâmetro do colmo: determinados aos 68 DAS, em todas as plantas da área útil da parcela. Para a altura de planta, foi considerada a distância do nível do solo ao ponto de inserção da lâmina foliar mais alta, e a inserção da primeira espiga foi medida do nível do solo até a base da espiga. Na ocasião, foi realizada também a contagem do número de folhas por planta e o diâmetro do primeiro entrenó.

-Prolifidade: número médio de espigas por plantas.

-Massa seca da planta: aos 70 DAS, foram coletadas 3 plantas da área útil da parcela, separadas em folhas, caule e grãos, acondicionadas separadamente em sacos de papel e colocadas em estufa de circulação de ar forçada a 65°C até atingir massa constante.

-Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K): o acúmulo de NPK nos diferentes órgãos da planta de milho foi calculado multiplicando-se os teores dos nutrientes pelos valores da massa seca das folhas, caule e grãos, e o acúmulo total, pelo somatório dos acúmulos nos respectivos órgãos para cada nutriente.

-Número e produtividade de espigas de milho verde: foram avaliados o número e peso totais de espigas; número e peso de espigas comercializáveis, empalhadas e despalhadas. O número e peso total de espigas foram obtidos com base no total de espigas colhidas na área útil. Foram consideradas como espigas empalhadas comercializáveis aquelas livres de danos causados por pragas ou doenças e com comprimento igual ou superior a 22 cm e, como espigas despalhadas comercializáveis, aquelas com boa sanidade e granação e apresentando comprimento igual ou superior a 18 cm (SILVA et al., 2014b).

-Índices de eficiência nutricional: a eficiência nutricional do N pelas cultivares de milho foi calculada segundo metodologia descrita por Fageria (1998), utilizando os índices:

-Eficiência agrônômica (EA):

$$EA = (PV_{cN} - PV_{sN}) / (QN_a), \text{ expressa em kg kg}^{-1}.$$

Em que PV_{cN} é a produção de milho verde com adubação nitrogenada; PV_{sN} é a produção de milho verde sem adubação nitrogenada e QN_a é a quantidade de N aplicado em kg ha^{-1} .

-Eficiência fisiológica (EF):

$$EF = (MST_{cN} - MST_{sN}) / (AN_{cN} - AN_{sN}), \text{ expressa em kg kg}^{-1}.$$

Em que MST_{cN} é a produção de matéria seca total com adubação nitrogenada (kg); MST_{sN} é a produção de matéria seca total sem adubação nitrogenada (kg); AN_{cN} é o acúmulo de N total com adubação nitrogenada (kg) e AN_{sN} é o acúmulo de N total sem adubação nitrogenada (kg).

-Eficiência na produção de espigas (EPE):

$$EPE = (PE_{cN} - PE_{sN}) / (AN_{cN} - AN_{sN}), \text{ expressa em kg kg}^{-1}.$$

Em que PE_{cN} é a produção de espigas com adubação nitrogenada; PE_{sN} é a produção de espigas sem adubação nitrogenada e AN_{cN} é o acúmulo de N total na parte vegetativa e espigas com adubação nitrogenada (kg) e AN_{sN} é o acúmulo de N total na parte aérea e espigas sem adubação nitrogenada (kg).

-Eficiência de recuperação (ER):

$$ER = (AN_{cN} - AN_{sN}) / (QN_a), \text{ expressa em kg kg}^{-1}.$$

Em que AN_{cN} é o acúmulo de N com adubação nitrogenada (kg); AN_{sN} é o acúmulo de N sem adubação nitrogenada (kg) e QN_a é a quantidade de N aplicado em kg ha^{-1} .

-Eficiência de utilização (EU):

$$EU = EF \times ER, \text{ expressa em kg kg}^{-1}.$$

Em que EF é a eficiência fisiológica e ER, a eficiência de recuperação.

3.4 Experimento II – Milho grão

A implantação e condução do experimento II foram realizadas de maneira semelhante ao experimento I. A colheita foi realizada manualmente no estágio fenológico R6 (maturação fisiológica) aos 113 dias após o plantio (DAP).

3.4.1 Características avaliadas

-Massa seca da planta: foram coletadas três plantas, separadas em folhas e caule, acondicionados separadamente em sacos de papel e colocadas em estufa de circulação de ar forçada a 65°C até atingir massa constante.

-Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K): o acúmulo de NPK nos diferentes órgãos da planta de milho foi calculado multiplicando-se os teores dos nutrientes pelos valores da massa seca na folha, caule e grãos, e o acúmulo total, pelo somatório dos acúmulos nas respectivas partes para cada nutriente separadamente.

-Produtividade de grãos: foi obtida a partir da debulha e pesagem dos grãos oriundos das espigas colhidas na área útil das parcelas, a qual foi convertida para kg ha^{-1} e corrigida para 15,5% de teor de umidade.

-Índices de eficiência nutricional: a eficiência nutricional do N pelas cultivares de milho foi calculada segundo metodologia descrita por Fageria (1998), utilizando os índices:

-Eficiência agronômica (EA):

$$EA = (PG_{cN} - PG_{sN}) / (QN_a), \text{ expressa em } \text{kg kg}^{-1}.$$

Em que PG_{cN} é a produção de grãos com adubação nitrogenada; PG_{sN} é a produção de grãos sem adubação nitrogenada e QN_a é a quantidade de N aplicado em kg ha^{-1} .

-Eficiência fisiológica (EF):

$$EF = (MST_{cN} - MST_{sN}) / (AN_{cN} - AN_{sN}), \text{ expressa em } \text{kg kg}^{-1}.$$

Em que MST_{cN} é a produção de matéria seca total com adubação nitrogenada (kg); MST_{sN} é a produção de matéria seca total sem adubação nitrogenada (kg); AN_{cN} é o acúmulo de N total com adubação nitrogenada (kg) e AN_{sN} é o acúmulo de N total sem adubação nitrogenada (kg).

-Eficiência na produção de grãos (EPG):

$$EPG = (PG_{cN} - PG_{sN}) / (AN_{cN} - AN_{sN}), \text{ expressa em } \text{kg kg}^{-1}.$$

Em que PG_{cN} é a produção de grão com adubação nitrogenada; PG_{sN} é a produção de grão sem adubação nitrogenada e AN_{cN} é o acúmulo de N total na parte aérea e grãos com adubação nitrogenada (kg) e AN_{sN} é o acúmulo de N total na parte aérea e grãos sem adubação nitrogenada (kg).

-Eficiência de recuperação (ER):

$$ER = (AN_{cN} - AN_{sN}) / (QN_a), \text{ expressa em } \text{kg kg}^{-1}.$$

Em que AN_{cN} é o acúmulo de N com adubação nitrogenada (kg); AN_{sN} é o acúmulo de N sem adubação nitrogenada (kg) e QN_a é a quantidade de N aplicado em kg ha^{-1} .

-Eficiência de utilização (EU):

$$EU = EF \times ER, \text{ expressa em } \text{kg kg}^{-1}.$$

Em que EF é a eficiência fisiológica e ER, a eficiência de recuperação.

3.5 Análises estatísticas

Para ambos os experimentos, os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento I – Milho Verde

4.1.1 Crescimento e acúmulo de nutrientes

Verificou-se efeito significativo da interação cultivar e níveis de N para a altura de planta (AP), altura da inserção da primeira espiga (AIE), massa seca do caule (MSC), acúmulo de nitrogênio na folha (NF) e no caule (NC) e acúmulo de fósforo no caule (PC), ao passo que para o diâmetro do caule (DC), número de folhas (NUF), massa seca de folha (MSF) e de grãos verde (MSG), acúmulo de nitrogênio no grão verde (NG), acúmulo de fósforo na folha (PF) e no grão verde (PG), acúmulo de potássio na folha (KF), no caule (KC) e no grão verde (KG) foram significativos os fatores isolados (níveis de N e cultivar). Para a prolificidade (PROL), foi significativo apenas o fator cultivar (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância das características altura da planta (AP), altura da inserção da primeira espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), prolificidade (PROL), número de folhas (NUF), massa seca da folha (MSF), do caule (MSC) e de grãos verdes (MSG), acúmulos de nitrogênio na folha (NF), no caule (NC) e no grão verde (NG), acúmulos de fósforo na folha (PF), no caule (PC) e no grão verde (PG), acúmulos de potássio na folha (KF), no caule (KC) e no grão verde (KG), na cultura do milho verde. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.

		QM					
FV	GL	AP (m)	AIE (m)	DC (mm)	PROL	NUF	MSF
Bloco	4	0.009108 ^{ns}	0.004983 ^{ns}	6.103363 ^{ns}	0.075000 ^{ns}	1.325000 ^{ns}	58.478762 ^{ns}
Cultivar(C)	2	0.097720 ^{**}	0.129963 ^{**}	33.139470 ^{**}	0.089583 [*]	4.902083 ^{**}	737.321403 ^{**}
Dose (D)	1	0.376320 ^{**}	0.188813 ^{**}	93.987000 ^{**}	0.018750 ^{ns}	3.502083 [*]	1840.206720 ^{**}
C x D	2	0.057760 [*]	0.034323 [*]	5.246410 ^{ns}	0.006250 ^{ns}	1.189583 ^{ns}	132.393810 ^{ns}
CV (%)		5,86	7,91	7,69	13,35	6,95	14,93

		QM					
FV	GL	MSC	MSG	NF	NC	NG	PF
Bloco	4	71.717825 ^{ns}	44.857105 ^{ns}	0.012372 ^{ns}	0.000513 ^{ns}	0.012042 ^{ns}	0.000178 ^{ns}
Cultivar(C)	2	4099.38193 ^{**}	602.466663 ^{**}	1.018863 ^{**}	0.030463 ^{**}	0.101243 ^{**}	0.021130 ^{**}
Dose (D)	1	48.082680 ^{ns}	826.035213 ^{**}	1.023053 ^{**}	0.028830 ^{**}	0.215053 ^{**}	0.006750 ^{**}
C x D	2	369.013890 [*]	7.226403 ^{ns}	0.124443 ^{**}	0.008590 [*]	0.011943 ^{ns}	0.000630 ^{ns}
CV (%)		11,77	19,79	9,47	22,41	18,37	14,20

		QM				
FV	GL	PC	PG	KF	KC	KG
Bloco	4	0.001838 ^{ns}	0.000288 ^{ns}	0.034275 ^{ns}	0.054672 ^{ns}	0.003930 ^{ns}
Cultivar(C)	2	0.015743 [*]	0.005110 ^{**}	3.093903 ^{**}	2.401403 ^{**}	0.121963 ^{**}
Dose (D)	1	0.001203 ^{ns}	0.011213 ^{**}	1.925333 ^{**}	1.344083 ^{**}	0.257613 ^{**}
C x D	2	0.014163 [*]	0.000043 ^{ns}	0.169703 ^{ns}	0.074363 ^{ns}	0.000503 ^{ns}
CV (%)		25,88	15,75	17,80	17,09	17,59

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

^{ns} não significativo.

Na ausência de N, não houve diferença estatística entre as cultivares para a altura de plantas (AP), com valores variando de 204 a 209 cm (Tabela 4), e na presença de N as cultivares Cruzeta e AG 1051 apresentaram plantas mais altas, com 247 e 226 cm, respectivamente. Com o fornecimento de N, a altura das plantas das cultivares ‘Cruzeta’ e a ‘AG 1051’ aumentou em 18 e 11%, respectivamente. Plantas mais altas e com inserção de espigas também mais altas apresentam vantagens na colheita (CAMPOS et al., 2010). O aumento na altura das plantas com o fornecimento de N também foi observado por Carvalho et al. (2011a). Entretanto, Soratto et al. (2011) não verificaram efeito do N na altura das plantas de milho.

Tabela 4. Valores médios referentes à altura da planta (AP), altura da inserção da primeira espiga (AIE), massa seca do caule (MSC), acúmulo de nitrogênio na folha (NF) e no caule (NC), e acúmulo de fósforo no caule (PC) em função das cultivares e doses de N, na cultura do milho verde. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.

Cultivar	AP		AIE		MSC	
	N1 ¹	N2 ²	N1	N2	N1	N2
	-----cm-----				-----g planta ⁻¹ -----	
Cruzeta	209,00 aB	247,00 aA	110,00 aB	137,00 aA	103,16 aA	89,43 aB
Truck	205,00 aA	212,00 bA	99,00 aA	103,00 cA	58,19 cA	53,93 bA
AG 1051	204,00 aB	226,00 aA	106,00 aB	122,00 bA	74,92 bA	85,31 aA
Cultivar	NF		NC		PC	
	N1	N2	N1	N2	N1	N2
	-----g planta ⁻¹ -----					
Cruzeta	0,79 bA	0,91 cA	0,24 aA	0,28 aA	0,25 aA	0,18 aB
Truck	0,91 bB	1,36 bA	0,14 bA	0,16 bA	0,13 bB	0,20 aA
AG 1051	1,22 aB	1,76 aA	0,17 abB	0,30 aA	0,26 aA	0,21 aA

¹N1= ausência de nitrogênio; ²N2= presença de nitrogênio.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, dentro de cada variável não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Para a altura da inserção da primeira espiga (AIE), sem a aplicação de N, não houve diferença significativa entre as cultivares, com AIE variando de 99,00 a 110,00 cm. Com a aplicação de N, a Cruzeta superou a ‘Truck’ e a ‘AG 1051’ em 33,0 e 12,3%, respectivamente. Aguiar et al. (2012) obtiveram média para altura de espiga de 98,49 cm.

As cultivares, com exceção da ‘Truck’, apresentaram maior AIE na presença do N, onde a maior diferença na AIE foi obtida pela ‘Cruzeta’, sendo observado aumento significativo de 110 para 137 cm, que corresponde a um aumento de 25%. No entanto, não foram verificados problemas de acamamento, visto que a maior altura de inserção das espigas na planta a predispõe ao acamamento (CAMPOS et al., 2010). Carvalho et al. (2011a) observaram aumento na AIE de 80 cm para 108 cm com a utilização do nível maior de N em cobertura. Diferentemente desses resultados, Meira et al. (2009) não encontraram diferenças significativas para a AIE em trabalho com fontes de N aplicados na semeadura e em cobertura no milho.

Para a massa seca do caule (MSC), no baixo nível de N, a cultivar Cruzeta produziu 77,3 e 38% a mais que a ‘Truck’ e a ‘AG 1051’, respectivamente (Tabela 4). No alto nível de N, ‘Cruzeta’ e ‘AG 1051’ apresentaram os maiores valores para a MSC, 89,43 e 83,31g planta⁻¹, respectivamente. Observa-se ainda que com a aplicação de N, a MSC da ‘Cruzeta’ diminuiu, sem prejuízo, porém, da produção de fitomassa.

Tanto no baixo quanto no alto nível de N, o maior acúmulo de nitrogênio na folha (NF) foi verificado na cultivar AG 1051. Apenas a ‘Cruzeta’ não apresentou diferença estatística entre os níveis de nitrogênio. No entanto, as cultivares Truck e AG 1051 acumularam mais N quando este foi fornecido na adubação, em torno de 49 e 44%,

respectivamente (Tabela 4). Silva et al. (2014b) também verificaram aumento no teor de N na folha quando o N e o P_2O_5 foram adicionados ao solo.

Plantas com maior teor de N proporcionam maior crescimento e desenvolvimento e, conseqüentemente, maior índice de área foliar, conferindo maior síntese de carboidratos pela fotossíntese (MEIRA et al., 2009). Soratto et al. (2011), avaliando o efeito de fontes e doses de N na nutrição e produtividade da cultura do milho sob sistema plantio direto, em solo arenoso, também verificaram que a aplicação de N incrementou o teor de nutriente na folha do milho, independentemente da fonte utilizada.

No caule, as cultivares Cruzeta e AG 1051 acumularam quantidade maior de N (NC), com e sem aplicação de N. Entretanto, apenas a cultivar AG 1051 apresentou incremento significativo no acúmulo N no caule, com a aplicação deste nutriente. Este incremento foi de 76%. Provavelmente, nessa cultivar a maior produção de massa seca do caule com a adubação nitrogenada também resultou em maior acúmulo de N nesse órgão.

Sem aplicação de N, os acúmulos de fósforo no caule (PC) nas cultivares Cruzeta e AG 1051 foram superiores ao 'Truck' em 92 e 100%, respectivamente (Tabela 4). Na presença do N, não foram detectadas diferenças entre as cultivares. As cultivares responderam diferentemente à aplicação de N. Na 'Cruzeta', o acúmulo de PC foi menor com a adubação nitrogenada, ao passo que na 'Truck' houve incremento de 54%, e na 'AG 1051' não foi significativo.

Em relação ao diâmetro do colmo (DC), a cultivar AG 1051 foi superior às demais cultivares, apresentando diâmetro de 24,38 mm (Tabela 5). O maior nível de N proporcionou o maior DC, com incremento de 15% em relação ao menor nível.

Diâmetros maiores de colmos (DC) são importantes, pois normalmente se correlacionam positivamente com maiores produtividades de grãos, visto que o colmo funciona como estrutura de reserva, ocorrendo translocação de fotoassimilados do colmo para os grãos (SORATTO et al., 2010). Meira et al. (2009) não encontraram diferenças significativas para o diâmetro do colmo, com médias variando entre 20 a 22 mm. Silva et al. (2014 b) verificaram que o DC foi influenciado pelas doses de N e P_2O_5 , sendo maior nas plantas adubadas com esses nutrientes.

Tabela 5. Valores médios referentes ao diâmetro do colmo (DC), prolificidade (PROL), número de folhas (NUF), massa seca da folha (MSF) e de grãos verdes (MSG), acúmulo de nitrogênio no grão verde (NG), acúmulos de fósforo na folha (PF) e no grão verde (PG), acúmulos de potássio na folha (KF), no caule (KC) e no grão verde (KG), em função das cultivares e das doses de N, na cultura do milho verde. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.

		DC	PROL	NUF	MSF	MSG	NG
		mm			-----g planta ⁻¹ -----		
Cultivares	Cruzeta	21,85 b	1,05 ab	10,30 b	74,81 a	38,81 a	0,68 a
	Truck	20,98 b	1,20 a	11,70 a	59,40 b	24,70 b	0,48 b
	AG 1051	24,38 a	1,03 b	11,03 ab	73,68 a	37,43 a	0,57 ab
Doses de N (kg ha ⁻¹)	0	20,67 b	1,07 a	10,67 b	61,46 b	28,82 b	0,49 b
	90	24,21 a	1,12 a	11,35 a	77,13 a	39,32 a	0,66 a
		PF	PG	KF	KC	KG	
		-----g planta ⁻¹ -----					
Cultivares	Cruzeta	0,11 b	0,13 a	0,85 c	2,63 a	0,41 b	
	Truck	0,12 b	0,12 a	1,47 b	1,65 c	0,31 c	
	AG 1051	0,20 a	0,09 b	1,96 a	2,13 b	0,53 a	
Doses de N (kg ha ⁻¹)	0	0,13b	0,09 b	1,17 b	1,92 b	0,32 b	
	90	0,16 a	0,13 a	1,68 a	2,35 a	0,51 a	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, dentro de cada variável não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Para a prolificidade (PROL), observa-se que a cultivar Truck apresentou o maior número de espigas planta⁻¹, porém não diferiu estatisticamente da ‘Cruzeta’ (Tabela 5). Entre os níveis de N estudados, não se observou diferenças estatísticas.

O aumento do número de espigas planta⁻¹ nem sempre é uma característica desejável, pois quando a prolificidade aumenta, muitas vezes, a segunda espiga torna-se muito pequena, além de ficar desgranada e deformada, deixando entender que o aumento de espiga por planta não significa crescimento de produtividade, apesar de ter sua contribuição no rendimento final (FARINELLI; LEMOS, 2010). Por outro lado, o aumento da prolificidade pode ter consequências adversas para outras características agrônômicas importantes, especialmente quanto à resistência do caule e da raiz (CASTRO, 2010). Todavia, Soratto et al. (2011) verificaram que a aplicação de N proporcionou incremento linear no número de espigas planta⁻¹.

A cultivar Truck apresentou o maior número de folhas (NUF), não diferindo, no entanto, da ‘AG 1051’. O maior NUF foi obtido na dose de 90 kg ha⁻¹ de N, com aumento de 6,4% em relação à não aplicação deste nutriente. Modesto (2014), avaliando os efeitos da aplicação do N em cobertura com diferentes fontes, também verificou que o número de folhas das plantas de milho aumentou com o incremento das doses de fertilizante nitrogenado.

Na massa seca da folha (MSF), não foram observadas diferenças significativas entre as cultivares Cruzeta e AG 1051, sendo estas as de maiores médias e diferindo da ‘Truck’ em 26 e 24%, respectivamente (Tabela 5). Observa-se ainda que a aplicação do N proporcionou aumento de 25 % na MSF em relação à ausência da sua aplicação.

Na massa seca dos grãos verdes (MSG), constata-se que as cultivares Cruzeta e AG 1051 apresentaram as maiores médias e não diferiram entre si. A aplicação de N proporcionou aumento de 36,4% na MSG em relação a não aplicação deste mineral.

O maior acúmulo de N nos grãos verdes (NG) foi observado na cultivar Cruzeta, porém esta não diferiu da ‘AG 1051’ (Tabela 5). A dose de 90 kg ha⁻¹ proporcionou aumento de 35% no acúmulo de NG, confirmando a importância do N na constituição do grão. A importância do teor de N nos grãos, para a cultura do milho, está diretamente relacionada à quantidade de proteína, sendo uma característica altamente influenciada pelo genótipo, dependendo do estado nutricional das plantas, do ciclo e do período de enchimento dos grãos (MEIRA et al., 2009; FARINELLI; LEMOS, 2010).

Relacionando o acúmulo de NG com a MSG, pode-se verificar que as cultivares que obtiveram os maiores acúmulos de N no grão verde também apresentaram os maiores valores de MS no grão. A esse respeito, acredita-se que os processos envolvidos no uso de nitrogênio – tais como absorção, assimilação e retranslocação do N dentro da planta de milho – permitiram que ocorresse uma relação direta entre os teores de nitrogênio acumulado nos grãos e na parte aérea do milho.

Na folha, o maior acúmulo de fósforo (PF) foi observado na cultivar AG 1051, com diferenças de 80 e 67%, da Cruzeta e da Truck, respectivamente (Tabela 5). O maior acúmulo de PF também foi observado no maior nível de N, com diferença de 23% em relação ao nível baixo de N.

A Cruzeta e a Truck foram as cultivares que mais acumularam fósforo nos grãos (PG), sendo superiores ao AG 1051 em 44 e 33%, respectivamente (Tabela 5). A aplicação de N propiciou um aumento de 31% no acúmulo de PC em relação à sua ausência.

O maior acúmulo de potássio na folha (KF) foi observado na cultivar AG 1051, com diferenças de mais de 100% da ‘Cruzeta’ e de 33% da ‘Truck’ (Tabela 5). Em relação à aplicação da adubação nitrogenada, o acúmulo de KF foi 44% maior que na ausência do N. Soratto et al. (2011) relataram incremento no K da folha de milho com o uso do N em cobertura, independentemente da fonte utilizada.

Já no potássio do caule (KC), a cultivar Cruzeta apresentou o maior acúmulo com diferenças de 59,3 e 23,5% em relação à Truck e a AG 1051, respectivamente. Observa-se também que o maior nível de N, proporcionou aumento no acúmulo de KC de 22,4%.

Resultado semelhante ao acúmulo do KF foi observado para o acúmulo de potássio no grão verde (KG), onde o híbrido AG 1051 superou o acúmulo de KG da ‘Cruzeta’ e do

‘Truck’ em 29,3 e 71%, respectivamente. A aplicação de N aumentou o acúmulo do KG em 4,7% (Tabela 5).

4.1.2 Número e produtividade de espigas verdes

Para as características número total de espiga (NTE), número de espigas despalhadas comerciais (NEDC) e produtividade de espigas despalhadas comerciais (PEDC) houve efeito significativo dos fatores cultivar e níveis de N isoladamente. Para o número de espigas empalhadas comerciais (NEEC) somente o fator cultivar foi significativo. Na produtividade total de espiga (PTE) e de espiga empalhadas comerciais (PEEC), apenas o fator níveis de N foi significativo (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo da análise de variância das características número total de espiga (NTE), de espigas empalhadas comerciais (NEEC) e de espigas despalhadas comerciais (NEDC), produtividade total de espiga (PTE), de espigas empalhadas comerciais (PEEC) e de espigas despalhadas comerciais (PEDC), na cultura do milho verde. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.

FV	GL	QM					
		NTE	NEEC	NEDC	PTE	PEEC	PEDC
		-----unid ha ⁻¹ -----			-----kg ha ⁻¹ -----		
Bloco	4	21406585.07 ^{ns}	14128707.32 ^{ns}	21016874.87 ^{ns}	3035493.49 ^{ns}	2792444.81 ^{ns}	513729.85 ^{ns}
Cultivar (C)	2	295391017.46 ^{**}	269237201.40 ^{**}	1.04533840E+0009 ^{**}	2230956.26 ^{ns}	1248958.45 ^{ns}	10055077.83 [*]
Dose (D)	1	139409765.71 [*]	217243461.24 ^{ns}	514531097.61 ^{**}	57802538.40 ^{**}	1248958.45 ^{**}	39535994.97 ^{**}
C x D	2	7616947.71 ^{ns}	9720565.39 ^{ns}	50034949.11 ^{ns}	9386982.51 ^{ns}	11008502.04 ^{ns}	4829103.73 ^{ns}
CV (%)		12,69	15,26	20,21	17,78	18,25	25,74

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01). * significativo ao nível de 5% de probabilidade (p<0,05), ns não significativo.

Quanto ao número de espigas produzidas, merece destaque a cultivar Truck (Tabela 7). Em números totais de espigas (NTE), de espigas empalhadas comerciais (NEEC) e espigas despalhadas comerciais (NEDC), essa cultivar superou a média da ‘Cruzeta’ em 26,7; 28,5 e 109,4%, respectivamente; e da ‘AG 1051’ em 29,2; 27,4 e 41%, respectivamente (Tabela 7), o que comprova que o material transgênico apresenta boa produção de espigas comerciais.

Tabela 7. Valores médios referentes ao número total de espiga (NTE), de espigas empalhadas comerciais (NEEC) e de espigas despalhadas comerciais (NEDC), peso total de espiga (PTE), de espigas empalhadas comerciais (PEEC) e de espigas despalhadas comerciais (PEDC), em função das cultivares e dos níveis de N, na cultura do milho. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.

		NTE	NEEC	NEDC	PTE	PEEC	PEDC
		-----unid ha ⁻¹ -----			-----kg ha ⁻¹ -----		
Cultivares	Cruzeta	33984,65 b	32031,51 b	18652,49 c	10031,72 a	10008,61 a	4026,07 b
	Truck	43055,90 a	41146,17 a	39062,81 a	10707,90 a	10209,20 a	5958,38 a
	AG 1051	33333,60 b	32291,93 b	27778,00 b	9798,52 a	9521,95 a	5457,16 ab
Doses de N (kg ha ⁻¹)	0	34635,70 b	32465,54 b	24356,39 b	8791,30b	8500,55 b	3999,22 b
	90	38947,07 a	37847,53 a	32639,15 a	11567,45 a	11325,96 a	6295,19 a

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, dentro de cada variável não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

É essencial, para a produção do milho verde, maior peso de espigas comerciais, pois estas são as espigas que serão comercializadas (ALBUQUERQUE et al., 2008; AGUIAR et al., 2012). Para a produtividade total de espigas (PTE) e de espigas empalhadas comerciais (PEEC) não foram observadas diferenças significativas entre as cultivares. Para a produtividade de espigas despalhadas comerciais (PEDC), a ‘Truck’ média superior à ‘Cruzeta’, porém não diferiu da ‘AG 1051’.

Em relação às doses de N, como já era esperado, as maiores produtividades foram obtidas quando, via adubação, foi adicionado N. Esse aumento da produtividade de espigas em função do fornecimento do N possivelmente deve-se ao fato de esse nutriente causar maiores efeitos nas características sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas, as quais, direta ou indiretamente, afetam a produtividade (OKUMURA et al., 2011).

Assim, no NTE, embora a resposta à adubação dependa também de outros fatores, a exemplo dos ambientais, genéticos e da cultivar utilizada, o maior nível de N proporcionou aumento de 12,4% em relação ao menor nível de N. Contudo, Silva et al. (2014 b) não verificaram influência positiva das doses de N e P₂O₅ aplicados ao solo sobre o número de espigas por hectare.

No NEEC e no NEDC, o maior nível de N proporcionou aumento de 16,6 e 34%, respectivamente, em relação à não aplicação desse nutriente. Silva et al. (2014 a) também verificaram respostas na produção de espigas despalhadas comerciais, em função da aplicação de doses de N.

Contrastando o NTE com o NEDC, percebe-se que 55; 91 e 83,3% das espigas produzidas pelas cultivares Cruzeta, Truck e AG 1051, respectivamente, apresentaram características de comercialização, com destaque para a cultivar Truck.

4.1.3 Índices de eficiência nutricional

Dos índices de eficiência avaliados, foi verificada diferença significativa entre as cultivares apenas para a eficiência agrônômica (EA) e a de recuperação (ER) (Tabela 8).

Tabela 8. Resumo da análise de variância das eficiências agrônômica (EA), fisiológica (EF), da produção de espiga (EPE), de recuperação (ER) e de utilização (EU), na cultura do milho verde. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.

FV	GL	QM				
		EA	EF	EPE	ER	EU
Bloco	4	99.798840 ^{ns}	1465.834290 ^{ns}	5847.398643 ^{ns}	0.009683 ^{ns}	130.542317 ^{ns}
Cultivar	2	2048.670087**	240.692420 ^{ns}	16953.666247 ^{ns}	0.048687*	58.207860 ^{ns}
CV (%)		38,84	43,28	64,96	35,61	56,45

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$), * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$), ^{ns} não significativo.

Na Tabela 9, observa-se que a cultivar AG 1051 apresentou a maior eficiência agrônômica (EA), ou seja, a maior produção econômica obtida por unidade de nutriente aplicado (FAGERIA, 1998). Logo, para cada kg de N aplicado no solo, a planta produziu 57, 67 kg de grãos de milho verde. Apesar de os híbridos serem mais eficientes que as cultivares, visto que os híbridos são combinações dos melhores materiais genéticos (RIBEIRO et al., 2000), o híbrido transgênico Truck apresentou eficiência agrônômica semelhante à cultivar Cruzeta.

É importante salientar que para obter altas produtividades, nem sempre a quantidade recomendada corresponde à mesma quantidade que propicia ganhos na eficiência agrônômica, podendo a eficiência agrônômica decrescer em relação às doses, tendo em vista o suprimento de N exceder as necessidades da cultura (FARINELLI; LEMOS, 2012).

Tabela 9. Valores médios referentes às eficiências agrônômica (EA), fisiológica (EF), da produção de espiga (EPE), de recuperação (ER) e de utilização (EU), na cultura do milho verde. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.

Cultivar	EA	EF	EPE	ER	EU
	-----kg kg ⁻¹ -----				
Cruzeta	27,08 b	54,18 a	134,06 a	0,17 b	7,98 a
Truck	19,42 b	42,38 a	56,97 a	0,32 ab	13,74 a
AG 1051	57,67 a	41,97 a	171,12 a	0,36 a	14,04 a

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, dentro de cada variável não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Quanto à eficiência fisiológica (EF) e produção biológica por unidade de nutriente acumulado (FAGERIA, 1998), não foram observadas diferenças entre as cultivares estudadas (Tabela 9). Isso demonstra que as cultivares apresentaram produtividade compatível com a

acumulação de N, havendo adequada conversão do nutriente em matéria seca (FARINELLI; LEMOS, 2012), e evidenciando boa adaptação das cultivares às condições oferecidas. Carvalho et al. (2011b) também não detectaram diferença significativa para a EF entre as cultivares e sugeriu que a produção biológica não foi fator determinante para diferenciar as cultivares quanto à maior ou menor eficiência ao N.

No presente trabalho, a eficiência de produção de espigas de milho verde (EPE) indica a eficiência da cultivar em converter o N para a produção de espigas (Tabela 9). No entanto, não se verificou diferença significativa entre as cultivares para a EPE, ou seja, as cultivares de milho apresentaram produtividade compatível com a acumulação de N, havendo adequada conversão do nutriente em produção de espigas.

Na eficiência de recuperação (ER), quantidade de nutriente acumulado por unidade de nutriente aplicado (FAGERIA, 1998), a AG 1051 e a ‘Truck’ foram as mais eficientes. A adição de N contribui para o aumento da recuperação do nutriente, o que sugere que nessas cultivares o N aplicado minimizou as perdas do nutriente para o ambiente e permitiu adequado acúmulo de N na parte aérea (FARINELLI; LEMOS, 2012).

Para a eficiência de utilização, que corresponde ao produto da eficiência fisiológica e da eficiência de recuperação (FAGERIA, 1998), não foram constatadas diferenças significativas entre as cultivares. Diferente desse resultado, Fernandes et al. (2005), estudando doses de N em seis cultivares de milho e a eficiência de uso desse nutriente pela cultura, verificaram que o híbrido AG 9010 foi o mais eficiente e as variedades BR 106 e Sol da Manhã foram os menos eficientes, independentemente da quantidade de N aplicada no solo. Carvalho et al. (2011b) sugerem que a maior ou menor eficiência no uso de nitrogênio por determinada cultivar de milho será em função das características herdadas dos seus genitores. Por exemplo, um híbrido simples só se mostrará eficiente no uso de N quando uma das duas linhagens cruzadas ou as duas possuírem essa característica e esta ainda permitir ser herdável.

4.2 Experimento II – Milho Grão

4.2.1. Produção de matéria seca, acúmulo de nutrientes e produtividade

A análise de variância (Tabela 10) indica efeito significativo da interação cultivar e níveis de N para a massa seca do grão (MSG), acúmulos de nitrogênio no sabugo (NS) e no grão (NG), e de fósforo no grão (PG), ao passo que para a massa seca do caule (MSC), do sabugo (MSS) e total (MST), acúmulos de nitrogênio no caule (NC), de potássio no caule

(KC), no sabugo (KS) e total (KT) foram significativos os fatores isolados (níveis de N e cultivar). Para a massa seca da folha (MSF), acúmulos de nitrogênio na folha (NF) e total (NT), de fósforo no caule (PC), no sabugo (PS) e total (PT), de potássio da folha (KF), no grão (KG) e produtividade (PROD), apenas o fator dose foi significativo.

Tabela 10. Resumo da análise de variância das características massa seca da folha (MSF), do caule (MSC), do sabugo (MSS), de grãos (MSG) e total (MST), acúmulos de nitrogênio na folha (NF), no caule (NC), no sabugo (NS) e no grão (NG), acúmulos de fósforo na folha (PF), no caule (PC), no sabugo (PS) e no grão (PG), acúmulos de potássio na folha (KF), no caule (KC), no sabugo (KS) e no grão (KG) e produtividade (PROD), na cultura do milho. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.

FV	GL	QM						
		MSF	MSC	MSS	MSG	MST	NF	NC
-----g planta ⁻¹ -----								
Bloco	4	6.33086 ^{ns}	128.36072 ^{ns}	0.82589 ^{ns}	2.66713 ^{ns}	174.87205 ^{ns}	0.02343 ^{ns}	0.00529 ^{ns}
Cultivar(C)	2	6.76069 ^{ns}	825.05612 ^{**}	46.06504 ^{**}	91.37738 ^{**}	1799.54674 [*]	0.01473 ^{ns}	0.01086 [*]
Dose (D)	1	1489.66533 ^{**}	1947.45747 ^{**}	63.68547 ^{**}	120.52056 ^{**}	10339.40545 ^{**}	2.71201 ^{**}	0.06256 ^{**}
C x D	2	73.244702 ^{ns}	97.07248 ^{ns}	3.57868 ^{ns}	11.91949 ^{**}	354.62290 ^{ns}	0.06808 ^{ns}	0.00164 ^{ns}
CV (%)		17,97	16,12	12,71	9,75	12,66	17,01	27,98

FV	GL	QM						
		NS	NG	NT	PF	PC	PS	PG
-----g planta ⁻¹ -----								
Bloco	4	0.00010 ^{ns}	0.00030 ^{ns}	0.02249 ^{ns}	0.00149 ^{ns}	0.00146 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	0.00004 ^{ns}
Cultivar(C)	2	0.00449 [*]	0.00990 ^{**}	0.13653 ^{ns}	0.01348 [*]	0.00043 ^{ns}	0.00012 ^{ns}	0.00211 ^{**}
Dose (D)	1	0.01825 ^{**}	0.02760 ^{**}	4.86421 ^{**}	0.03333 ^{**}	0.02187 [*]	0.00021 [*]	0.00176 ^{**}
C x D	2	0.00302 [*]	0.00522 ^{**}	0.15327 ^{ns}	0.00506 ^{ns}	0.00297 ^{ns}	0.00011 ^{ns}	0.00017 [*]
CV (%)		21,50	16,66	14,15	27,69	32,14	24,53	15,11

FV	GL	QM						
		PT	KF	KC	KS	KG	KT	PROD
-----g planta ⁻¹ -----							kg ha ⁻¹	
Bloco	4	0.00441 ^{ns}	0.01428 ^{ns}	0.16291 ^{ns}	0.00058 ^{ns}	0.00065 ^{ns}	0.20130 ^{ns}	845618.39254 ^{ns}
Cultivar (C)	2	0.02458 ^{ns}	0.19488 ^{ns}	0.70368 [*]	0.02468 ^{**}	0.00125 ^{ns}	1.43990 [*]	915406.54249 ^{ns}
Dose (D)	1	0.15696 ^{**}	0.01428 [*]	2.14936 ^{**}	0.01365 ^{**}	0.03816 ^{**}	5.90520 ^{**}	6109654.28008 ^{**}
C x D	2	2.14570 ^{ns}	0.05111 ^{ns}	0.08926 ^{ns}	0.00053 ^{ns}	0.00191 ^{ns}	0.35016 ^{ns}	1.05581 ^{ns}
CV (%)		20,41	24,89	26,46	18,70	19,28	19,06	15,54

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01). * significativo ao nível de 5% de probabilidade (p<0,05), ns não significativo.

A massa seca da folha (MSF) não diferiu estatisticamente entre as cultivares, com valores médios de 63,37 g planta⁻¹. No entanto, a MSF respondeu à adubação nitrogenada, com incrementos significativos de 25% (Tabela 11).

Na massa seca do caule (MSC) e massa seca do sabugo (MSS), a cultivar Cruzeta apresentou as maiores médias. Contudo, na MSS, a Cruzeta não diferiu estatisticamente da

cultivar Truck. A aplicação de N proporcionou aumento de 33 e 28% na MSC e MSS, respectivamente, em relação à não aplicação deste mineral (Tabela 11).

Na massa seca total (MST), as cultivares Cruzeta e Truck apresentaram as maiores médias e não diferiram estatisticamente entre si. O aumento da dose de N teve reflexo direto na MST, sendo registrado aumento de 29,4% em relação à não aplicação desse nutriente, ou seja, 37,13 g planta⁻¹ a mais de MST (Tabela 11). Carvalho et al. (2011 b), avaliando cultivares de milho quanto à eficiência de absorção e uso de N em dois níveis contrastantes de N, obtiveram diferenças de apenas 12,6% na MST.

Tabela 11. Valores médios referentes à massa seca da folha (MSF), do caule (MSC), do sabugo (MSS) e total (MST), acúmulos de nitrogênio na folha (NF), no caule (NC), e total (NT), acúmulos de fósforo na folha (PF), no caule (PC), no sabugo (PS) e total (PT), acúmulos de potássio na folha (KF), no caule (KC), no sabugo (KS), no grão (KG) e total (KT) e produtividade (PROD), em função das cultivares e das doses de N, na cultura do milho. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.

	MSF	MSC	MSS	MST	NF	NC
-----g planta ⁻¹ -----						
Cultivares						
Cruzeta	62,43 a	67,44 a	14,27 a	159,86 a	1,47 a	0,22 a
Truck	63,78 a	56,49 b	11,53 ab	140,80 a	1,40 a	0,16 ab
AG 1051	63,90 a	50,22 b	10,2 b	134,42 b	1,44 a	0,16 b
-----g planta ⁻¹ -----						
Doses de N						
0	56,33 b	49,18 b	10,47 b	126,25 b	1,14 b	0,13 b
90	70,42 a	65,30 a	13,38 a	163,38 a	1,74 a	0,22 a
	NT	PF	PC	PS	PT	KF
-----g planta ⁻¹ -----						
Cultivares						
Cruzeta	2,02 a	0,21 a	0,16 a	0,03 a	0,47 a	1,12 a
Truck	1,80 a	0,15 b	0,16 a	0,03 a	0,37 a	1,27 a
AG 1051	1,84 a	0,21 a	0,17 a	0,03 a	0,44 a	0,99 a
-----g planta ⁻¹ -----						
Doses de N						
0	1,49 b	0,16 b	0,13 b	0,02 b	0,36 b	1,00 b
90	2,29 a	0,22 a	0,19 a	0,03 a	0,50 a	1,24 a
	KC	KS	KG	KT	PROD	
-----g planta ⁻¹ -----					----kg ha ⁻¹ ----	
Cultivares						
Cruzeta	1,86 a	0,23 a	0,16 a	3,36 a	4116,89 a	
Truck	1,53 ab	0,14 b	0,13 a	3,08 ab	3724,71 a	
AG 1051	1,34 b	0,14 b	0,15 a	2,63 b	4328,88 a	
-----g planta ⁻¹ -----					----kg ha ⁻¹ ----	
Doses de N						
0	1,30 b	0,15 b	0,11 b	2,56 b	3625,69 b	
90	1,84 a	0,19 a	0,18 a	3,45 a	4528,25 a	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, dentro de cada variável não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O conhecimento dos acúmulos de nutrientes ajuda a entender melhor os fatores relacionados à nutrição mineral da planta. Para os acúmulos de nitrogênio na folha (NF) e nitrogênio total (NT), não foram registradas diferenças entre as cultivares. No entanto, a

adição da maior dose de N proporcionou aumento nos acúmulos do NF e NT em 53 e de 54%, respectivamente (Tabela 11).

Resultados semelhantes também foram encontrados por Ferreira et al. (2009); Farinelli; Lemos (2010) e Soratto et al. (2011), que verificaram aumento do N nas folhas com o incremento das doses de N. Para Meira et al. (2009), a concentração de N nas folhas se relaciona à produtividade de grãos, onde plantas com maiores teores de N na folha tornam-se mais aptas para alocar carboidratos para o sistema radicular, tornando-o mais abrangente e capaz de melhor aproveitar o N disponível, seja o N proveniente do solo ou do fertilizante.

No nitrogênio do caule (NC), a cultivar Cruzeta apresentou o maior acúmulo, porém não diferiu da 'Truck'. A aplicação da adubação nitrogenada permitiu incremento no acúmulo de NC de 69,2%.

Quanto ao acúmulo de fósforo, observa-se que o maior acúmulo na folha (PF) foi registrado na cultivares Cruzeta e AG 1051, as quais apresentaram o mesmo valor acumulado ($0,21 \text{ g planta}^{-1}$). A aplicação de nitrogênio contribuiu para o aumento do acúmulo do PF em 37,5% (Tabela 11). Silva et al. (2014b) verificaram que os teores de P na folha do milho foram significativamente influenciados pelas doses de N e de P_2O_5 aplicadas no solo, sendo os teores de PF superiores àqueles verificados na ausência de adubação com tais nutrientes. Diferentemente desses resultados, Soratto et al. (2011) não constataram diferenças nos teores de PF com a aplicação de nitrogênio em cobertura.

Sem diferenças significativas entre as cultivares, a aplicação de N proporcionou aumentos no acúmulo do fósforo do caule (PC), fósforo do sabugo (PS) e fósforo total (PT) de 46; 50 e 39%, respectivamente.

Quanto ao acúmulo de potássio, na folha (KF) e no grão (KG) apenas observou-se efeito significativo da dose (Tabela 11), onde o maior nível de N contribuiu para o aumento do KF e do KG em 24 e 64%, respectivamente, confirmando que o uso da adubação nitrogenada pode ser fator primordial para alcançar altas produtividades (CARVALHO et al., 2011b).

O maior acúmulo de potássio no caule (KC), no sabugo (KS) e total (KT) foi registrado pela cultivar Cruzeta, porém no KC e no KT não diferiu estatisticamente da 'Truck', e esta, por sua vez, da 'AG 1051'. Registra-se também a contribuição da dose de 90 kg ha^{-1} de N, no aumento do acúmulo do KC, KS e KT, que foi de 42, 27 e 35%, respectivamente (Tabela 11).

A produtividade de grãos não diferiu entre as cultivares (Tabela 11). Esse resultado difere dos encontrados na literatura, visto que geralmente os híbridos são superiores às

variedades (MONTEIRO et al., 2000; FERNANDES et al., 2005; CARVALHO et al., 2011 b). Esta resposta pode ser atribuída à boa estabilidade de produção e adaptabilidade ambiental da variedade Cruzeta.

A adubação com nitrogênio proporcionou acréscimo de 25% mediante aplicação do maior nível de N (Tabela 11). Esse aumento de produtividade foi constatado por Ferreira et al. (2009), que relacionam tal fato à melhor distribuição do N e sua transferência para os grãos. Carvalho et al. (2011 b) também evidenciaram que as maiores produtividades foram alcançadas na maior dose de N, independentemente do tipo de material avaliado (híbrido simples, triplo, duplo ou variedade).

Cancellier et al. (2011), avaliando a eficiência no uso do nitrogênio e a correlação fenotípica de 24 populações de milho no Sul do estado do Tocantins, também observaram maiores produtividades no ambiente com alto nível de nitrogênio, sendo o ambiente com baixo N 23% menos produtivo. Fidelis et al. (2007) também verificaram maior produtividade de grãos no ambiente onde foi empregada a maior dose de nitrogênio. Resultados semelhantes também foram encontrados por Soratto et al. (2011), para quem a produtividade de grãos foi influenciada pelas doses de N, sendo que a aplicação de doses crescentes de N em cobertura proporcionou aumento quadrático nos valores dessa variável até a dose estimada de 124 kg ha⁻¹, com aumento da ordem de 56,8% em relação à testemunha, sem aplicação de N em cobertura.

Com rendimento de grãos de 3.625,69kg ha⁻¹ (Tabela 11), no ambiente com baixo nível de N, a produtividade atingida no presente trabalho superou a média do estado do Rio Grande do Norte registrada no ano 2015, 402 kg ha⁻¹ (COSTA, 2015). Resultados semelhantes foram observados por Cancellier et al. (2011), que encontraram produtividades maiores do que a média do Estado, atribuindo tal fato à tolerância das populações avaliadas ao ambiente de baixa disponibilidade de nitrogênio no solo.

A cultivar Cruzeta, independentemente do N, apresentou a maior massa seca do grão (MSG) e a aplicação de nitrogênio proporcionou incrementos significativos, na ordem de 49; 43,3 e 25,5% para as cultivares Cruzeta, Truck e AG 1051, respectivamente, o que significa aumento na produtividade de grãos (Tabela 12). A massa de grãos é uma característica influenciada pelo genótipo, pela disponibilidade de nutrientes e pelas condições climáticas, durante a fase de enchimento de grãos (FARINELLI; LEMOS, 2012). Schiavinatti et al. (2011) constataram aumentos na MSG com aumento da adubação nitrogenada.

Tabela 12. Valores médios referentes à massa seca do grão (MSG), acúmulo de nitrogênio no sabugo (NS) e no grão (NG) e acúmulo de fósforo no grão (PG) em função das cultivares e doses de N, na cultura do milho. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.

Cultivar	MSG		NS		NG		PG	
	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2
	-----g planta ⁻¹ -----							
Cruzeta	12,65 aB	18,82 aA	0,12 aB	0,20 aA	0,12 aB	0,23 aA	0,05 aB	0,07 aA
Truck	9,21 bB	13,20 bA	0,10 aB	0,16 abA	0,09 aB	0,16 bA	0,03 bB	0,05 bA
AG 1051	8,94 bB	11,22 cA	0,11 aA	0,13 bA	0,11 aB	0,13 bA	0,03 bA	0,04 bA

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, dentro de cada variável não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na ausência de N, não foram observadas diferenças estatísticas para o acúmulo de nitrogênio no sabugo (NS). No alto nível de N, a ‘Cruzeta’ superou o acúmulo de NS da AG 1051, não diferindo estatisticamente, no entanto, da cultivar Truck. Para essa mesma variável, as cultivares responderam à adubação nitrogenada, sendo observados aumentos no acúmulo de 67; 60 e 18% para a ‘Cruzeta’, ‘Truck’ e ‘AG 1051’, respectivamente.

Para o acúmulo do nitrogênio do grão (NG), na ausência da adubação nitrogenada não foram observadas diferenças significativas entre as cultivares, ao passo que, na presença do N, a ‘Cruzeta’ destacou-se das demais, com diferenças de 44 e 77% da ‘Truck’ e da ‘Ag 1051’, respectivamente. Com a aplicação do N, houve incrementos significativos no acúmulo do NG de 92; 78 e 18% para a ‘Cruzeta’, ‘Truck’ e ‘AG 1051’, respectivamente (Tabela 12). O teor de nitrogênio reflete a quantidade de proteína, sendo importante para a estimativa de N exportado de lavouras de milho destinadas à silagem de planta inteira ou apenas para colheita dos grãos (FARINELLI; LEMOS, 2010; CARVALHO et al., 2011b). Para Meira et al. (2009), a quantidade de N a ser drenada para o grão tem relação direta com o estado nutricional das plantas e também depende do ciclo, do período de enchimento dos grãos e, principalmente, da cultivar.

Tanto na presença quanto na ausência de N, o maior acúmulo de fósforo no grão (PG) ocorreu na cultivar Cruzeta. As cultivares Truck e AG 1051, com os menores acúmulos de PG, não diferiram estatisticamente entre si. Com a aplicação do N, as cultivares Cruzeta e Truck foram influenciadas pela disponibilidade de nitrogênio no solo, obtendo maiores acúmulos de PG, com acréscimos de 40 e 67%, respectivamente (Tabela 12).

4.2.2. Índices de eficiência nutricional

Dos índices de eficiência avaliados, verificou-se que a eficiência agrônômica (EA), de produção de grãos (EPG) e de recuperação (ER) diferiu entre as cultivares avaliadas (Tabela 13).

Tabela 13. Resumo da análise de variância das eficiências agrônômica (EA), fisiológica (EF), da produção de grãos (EPG), de recuperação (ER) e de utilização (EU), na cultura do milho. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.

FV	GL	QM				
		EA	EF	EPG	ER	EU
Bloco	4	35.204197 ^{ns}	288.073027 ^{ns}	68.617651 ^{ns}	0.002811 ^{ns}	9.917618 ^{ns}
Cultivar	2	77.700357*	1094.752869 ^{ns}	1005.882175*	0.117074*	346.849518 ^{ns}
CV (%)		30,63	39,16	38,95	33,52	51,75

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$), ns não significativo.

A maior eficiência agrônômica (EA) do uso do nitrogênio foi obtida pela cultivar AG 1051, com média de 14,40, indicando que para cada kg de N aplicado no solo a planta produziu 14,40 kg de grãos (Tabela 14).

A eficiência agrônômica se reflete em maior eficiência econômica no uso do N, podendo os custos de produção ser reduzidos em função do manejo de adubação. A EA pode diminuir, de acordo com o aumento de doses de N aplicadas, tendo em vista o suprimento de N exceder as necessidades da cultura (FERNANDES et al., 2005), já que nem sempre a quantidade recomendada para obter altas produtividades, que geralmente ultrapassa a dose de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura, corresponde à quantidade que propicia ganhos na eficiência agrônômica (FARINELLI; LEMOS, 2010).

Tabela 14. Valores médios referentes as eficiências agrônômica (EA), fisiológica (EF), da produção de grãos (EPG), de recuperação (ER) e de utilização (EU), na cultura do milho. Mossoró/RN. UFERSA, 2017.

Cultivar	EA	EF	EPG	ER	EU
			-----kg kg ⁻¹ -----		
Cruzeta	12,20 ab	40,30 a	25,49 b	0,51 a	20,32 a
Truck	6,74 b	66,16 a	22,17 b	0,35 ab	23,27 a
AG 1051	14,40 a	40,77 a	48,23 a	0,20 b	7,60 a

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, dentro de cada variável não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Em relação à eficiência fisiológica (EF), não houve diferenças significativas entre as cultivares, demonstrando que as cultivares de milho apresentaram produtividade compatível com a acumulação de N, havendo adequada conversão do nutriente em produtividade de

grãos. Resultado semelhante foi encontrado por Carvalho et al. (2011 b), os quais sugeriram que a produção biológica não foi fator determinante para diferenciar as cultivares quanto a maior ou menor eficiência ao N.

Para a eficiência da produção de grãos (EPG), a cultivar AG 1051 foi a mais eficiente, apresentando média de 48,23, ou seja, para cada kg de N acumulado a planta conseguiu produzir 48,23 kg de grãos, ao passo que as demais cultivares, menos eficientes, não diferiram estatisticamente entre si. Isso demonstra que a cultivar AG 1051 conseguiu canalizar com mais eficiência o N para a produção de grãos de milho.

Quanto à eficiência de recuperação, a cultivar Cruzeta acumulou maior quantidade de nutriente na parte aérea por unidade de nutriente aplicado, porém não diferiu da Truck e esta da 'AG 1051'. Isso demonstra que essas cultivares foram eficientes na recuperação do nutriente, possivelmente minimizando as perdas do elemento para o ambiente e permitindo adequado acúmulo de N na parte aérea.

Para a eficiência de utilização (EU), as cultivares não apresentaram comportamento distinto quanto ao uso de N. Carvalho et al. (2011 b) também não encontraram diferenças entre os grupos de cultivares avaliados, sugerindo que a eficiência nutricional de determinada cultivar não é dependente de sua característica genética, sendo que a maior ou menor eficiência no uso de nitrogênio por determinada cultivar de milho será em função das características herdadas dos seus genitores. Conforme DoValle et al. (2012), os genitores contribuem de maneira diferenciada para a transmissão de alelos que controlam a eficiência no uso do nitrogênio. Fernandes et al. (2005) verificaram que o híbrido AG 9010 foi o mais eficiente e as variedades BR 106 e Sol da Manhã, os materiais menos eficientes.

5. CONCLUSÕES

As cultivares AG 1051 e Cruzeta apresentaram as maiores alturas de planta e de inserção da primeira espiga, e a cultivar Truck apresentou a maior prolificidade e número de folhas.

Os maiores acúmulos de massa seca e de NPK foram observados nas cultivares AG 1051 e Cruzeta.

As cultivares apresentaram maior desempenho produtivo quando adubadas com nitrogênio.

As folhas e os grãos acumularam mais nitrogênio, ao passo que o caule e o sabugo acumularam mais K.

A cultivar Truck é a mais indicada para produção de milho verde.

O híbrido AG1051 foi mais eficiente na utilização do nitrogênio, produzindo 57,67 kg de grãos verdes e 14,40 kg de grãos secos para cada kg de N aplicado.

6. REFERÊNCIAS

- ABIMILHO. 2017. O Cereal que enriquece a alimentação humana. Disponível em: <<http://www.abimilho.com.br/milho/cereal>> Acesso em 05 de janeiro de 2017.
- AGUIAR, C. B. N.; COIMBRA, R. R.; AFERRI, F. S.; PAULA, M. J.; FREITAS, M. K. C.; OLIVEIRA, R. J. Desempenho agronômico de híbridos de milho verde em função da adubação nitrogenada de cobertura. **Revista Ciência Agrária**, v. 55, n. 1, p. 11-16, 2012.
- ALBUQUERQUE, C. J. B.; PINHO, R. G. V.; SILVA, R. Produtividade de híbridos de milho verde experimentais e comerciais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 69-76, 2008.
- ARAÚJO JÚNIOR, B. B. **Crescimento e rendimentos de milho cultivado com controle de plantas daninhas via consorciação com gliricídia**. 2010. 53f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2010.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000.
- CAMPOS, M. C. C.; SILVA, V. A.; CAVALCANTE, I. H. L.; BECKMANN, M. Z. Produtividade e características agronômicas de cultivares de milho safrinha sob plantio direto no Estado de Goiás. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 77-84, 2010.
- CANCELLIER, L. L.; AFFÉRI, F. S.; CARVALHO, E. V.; DOTTO, M. A.; LEÃO, F. F. Eficiência no uso de nitrogênio e correlação fenotípica em populações tropicais de milho no Tocantins. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 139-148, jan.-mar. 2011.
- CARMO FILHO, F.; OLIVEIRA, O. F. **Mossoró: um município do semi-árido nordestino, caracterização climática e aspecto florístico**. Mossoró: ESAM. 1995.
- CARVALHO, E.V.; AFFÉRI, F.S.; PELUZIO, J. M.; LEÃO, F. F.; CANCELLIER, L. L.; DOTTO, M. A. Eficiência e uso do nitrogênio em híbridos experimentais de milho do programa de melhoramento da Universidade Federal do Tocantins. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 3, p. 392-403, 2011a.

- CARVALHO, R. P. **Eficiência na absorção e uso de nitrogênio em cultivares de milho.** 2008. 65f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2008.
- CARVALHO, R. P.; VON PINHO, R. G.; DAVIDE, L. M. C. Eficiência e uso do nitrogênio em híbridos experimentais de milho do programa de melhoramento da Universidade Federal do Tocantins. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 10, n. 2, p. 108-120, 2011a.
- CARVALHO, R. P.; VON PINHO, R. G.; DAVIDE, L. M. C. Desempenho de cultivares de milho quanto à eficiência de utilização de nitrogênio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas v.10, n. 2, p. 108-120, 2011b.
- CARVALHO, R. P.; VON PINHO, R. G.; DAVIDE, L. M. C. Eficiência de cultivares de milho na absorção e uso de nitrogênio em ambiente de casa de vegetação. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 6, p. 2125-2136, 2012.
- CASTRO, R. S. **Rendimentos de espigas verdes e de grãos de cultivares de milho após a colheita da primeira espiga como minimilho.** 2010. 96f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do SemiÁrido. Mossoró, 2010.
- CAVALCANTI, F. J. A. C. (Coord.) **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco.** 2ª aproximação. Recife: IPA, 1998, 198 p.
- CAZETTA, D. A. **Épocas de aplicação do nitrogênio nas características agronômicas e na eficiência de uso na cultura do milho.** 2010. 57p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2010.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Seja o doutor do seu milho – Nutrição e adubação.** Arquivo do Agrônomo nº 2, 2 ed. 1995. Disponível em: <[http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/2195BD461F1CCE6283257AA0003AC138/\\$FILE/Milho.pdf](http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/2195BD461F1CCE6283257AA0003AC138/$FILE/Milho.pdf)>. Acesso em: 09 mai. 2016.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2016/17. Quarto Levantamento. Brasília: **Conab**, v. 4, n.4, 2017. 162p. Disponível em:<<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 11 jan. 2017.

COSTA, L. G. A. **Relatório sobre o Comportamento da Safra de Grãos do RN - 10º Levantamento da Safra Brasileira de Grãos**. Disponível em

<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_07_09_14_46_19_relatorio_safra_graos_2015_10o_lev.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2016.

DoVale, J.C.; FRITSCHÉ-NETO, R.; Felipe BERMUDEZ, F.; MIRANDA, G. V. Efeitos gênicos de caracteres associados à eficiência no uso de nitrogênio em milho. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 47, n. 3, p. 385-392, mar. 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2 ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: **EMBRAPA**, 1997. 212p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: **Embrapa SPI**, 2009.

FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 2, p. 6-16, 1998.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; CUTRIM, V. A. Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 42, n. 7, p. 1029-1034, jul. 2007.

FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. Nitrogênio em cobertura na cultura do milho em preparo convencional e plantio direto consolidados. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 1, p. 63-70, 2012.

FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. Produtividade e eficiência agrônômica do milho em função da adubação nitrogenada e manejos do solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 9, n. 2, p. 135-146, 2010.

FERNANDES, F. C.S.; BUZZETTI, S.; ARF, O.; ANDRADE, A.C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 2, p. 195-204, 2005.

FERREIRA, A. O.; SÁ, J. C. M.; BRIEDIS, C.; FIGUEIREDO, A. G. Desempenho de genótipos de milho cultivados com diferentes quantidades de palha de aveia-preta e doses de nitrogênio. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 44, n. 2, p. 173-179, 2009.

FERREIRA, D. F. Sisvar Versão 5.0. Lavras: UFLA, 2007.

FIDELIS, R. R.; MIRANDA, G. V.; SANTOS, I. C.; GALVÃO, J. C. C.; PELUZIO, J. M.; LIMA, S. O. Fontes de germoplasma de milho para estresse de baixo nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiás, v. 37, n. 3, p. 147-153, 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Production: crops**. 2013.

Disponível em: <www.faostat.fao.org>. Acesso em: 06 mai. 2015.

GALVÃO, D. C. **Estratégia de uso de água salina na irrigação do milho AG 1051**. 62f. **Dissertação** (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2014.

MAJEROWICZ, N.; PEREIRA, J. M. S.; MEDICI, L. O.; BISON, O.; PEREIRA, M. B.; SANTOS JÚNIOR, U. M. Estudo da eficiência de uso do nitrogênio em variedades locais e melhoradas de milho. **Revista Brasileira Botânica**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 129-136, jun. 2002.

MEIRA, F. A.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E.; ANDRADE, J. A. C. Fontes e épocas de aplicação do nitrogênio na cultura do milho irrigado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 2, p. 275-284, 2009.

MODESTO, V. C. **Diagnose da composição nutricional e eficiência de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho**. 55f. **Dissertação**. (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2014.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomic Journal**, Madison, v. 74, p. 562-564, 1982.

MONTEIRO, M. A. R.; CRUZ, J. C.; OLIVEIRA, A. C.; RAMALHO, M. V. P.; VON PINHO, R. G. Desempenho de cultivares de milho para produção de grãos no estado de Minas Gerais. **Ciência agrotécnica**, Lavras, v. 24, n. 4, p. 881-888, 2000.

MOREIRA, J. N. **Produtividades de minimilho, espigas verdes e grãos de cultivares de milho em resposta**. 2007. 54f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2007.

NASCIMENTO, F. N. **Características agronômicas do milho verde sob diferentes regimes hídricos**. 2012. 81f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2012.

NUNES, J. A. **Avaliação participativa de variedades locais e melhoradas de milho visando a eficiência no uso de nitrogênio**. 67f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo, 2006.

OKUMURA, R.S.; MARIANO, D.C.; ZACCHEO, P.V.C. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 4, n. 2, p. 226–244, 2011.

OLIVEIRA, V. R. **Crescimento de leguminosas arbóreas e rendimento de milho em sistemas silviagrícolas**. 86f. Dissertação (Mestrado Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2012.

PEIXOTO, C.M. **O milho: o Rei dos cereais – Da sua descoberta há 8.000 anos atrás até as plantas transgênicas**. Cultura do milho, 2002. Disponível em: <<http://www.seednews.inf.br/portugues/seed62/milho62.shtml>>. Acesso em: 25 jan. 2017.

PORTO, A. P. F. **Cultivares de milho submetidos a diferentes espaçamentos e manejos de capinas no Planalto da Conquista – BA**. 2010. 73p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Vitória da Conquista, 2010.

RIBEIRO, P. H. E.; RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de milho em diferentes condições ambientais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 35, n. 11, p. 2213-2222, 2000.

RODRIGUES, R. C.; MOURÃO, G. B.; BRENNECKE, K.; LUZ, P. H. C.; HERLING, V.R. Produção de massa seca, relação folha/colmo e alguns índices de crescimento do *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés cultivado com a combinação de doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 394-400, 2008.

SANTOS, A. B.; FAGERIA, N. K. Manejo do nitrogênio para eficiência de uso por cultivares de feijoeiro em várzea tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 9, p. 1237-1248, set. 2007.

SCHIAVINATTI, A. F.; ANDREOTTI, M.; BENETT, C. G. S.; PARIZ, C. M.; LODO, B. N.; BUZETTI, S. Influência de fontes e modos de aplicação de nitrogênio nos componentes da produção e produtividade do milho irrigado no cerrado. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p.925-930, 2011.

SILVA, F. A. **Produção de milho para ensilagem e espigas verdes em função de períodos de veranico nos sistema de plantio direto e convencional**. 86f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido.Mossoró, 2013a.

SILVA, G. F. **Adubação nitrogenada e fosfatada para produção de milho verde e de grãos na Chapada do Apodi-RN**. 121f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2013b.

SILVA, G. R.; OLIVEIRA, F. H. T.; PEREIRA, R. G.; SILVA, P. S. L.; DIÓGENES, T. B. A.; SILVA, A. R. C. Doses de nitrogênio e fósforo para produção econômica de milho na Chapada do Apodi, RN. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 12, p. 1247–1254, 2014 b.

SILVA, G. R.; OLIVEIRA, F. H. T.; PEREIRA, R. G.; DIÓGENES, T. B. A.; NOVO JÚNIOR, J.; SOUZA FILHO, A.L. Doses de nitrogênio e de fósforo recomendadas para produção econômica de milho verde em Mossoró-RN. **Magistra**, Cruz das Almas – BA, V. 26, n. 4, p. 471-485, 2014 a.

SORATTO, R.P.; PEREIRA, M.; COSTA, T. A. M.; LAMPERT, V. N. Fontes alternativas e doses de nitrogênio no milho safrinha em sucessão à soja. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 511-518, 2010.

SORATTO, R. P.; SILVA, A. H.; CARDOSO, S. M.; MENDONÇA, C. G. Doses e fontes alternativas de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo arenoso. **Ciência agrotécnica**, Lavras, v. 35, n. 1, p. 62-70, 2011.

SOUZA, H. A.; CAVALCANTE, A. C. R.; POMPEU, R. C. F. F.; TONUCCI, R. G.; MODESTO, V. C.; NATALE, W. Avaliação da eficiência agronômica de fontes e doses de nitrogênio na cultura do milho em região Semiárida. In.: **FERTBIO**, Maceió (AL), 2012.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).