

**ANÁLISE COMBINATÓRIA DE LINHAGENS DE MILHO-PIPOCA
VISANDO A RESISTÊNCIA À PODRIDÃO DE ESPIGAS EM
CONDIÇÕES IDEAIS E RESTRITAS DE NITROGÊNIO NO SOLO**

MAYARA CAZADINI CARLOS

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO – UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES
MARÇO – 2024**

ANÁLISE COMBINATÓRIA DE LINHAGENS DE MILHO-PIPOCA
VISANDO A RESISTÊNCIA À PODRIDÃO DE ESPIGAS EM
CONDIÇÕES IDEAIS E RESTRITAS DE NITROGÊNIO NO SOLO

MAYARA CAZADINI CARLOS

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutora em Genética e Melhoramento de
Plantas”

Orientador: Prof. Silvaldo Felipe da Silveira

CAMPOS DOS GOYTACAZES
MARÇO – 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

C284

Carlos, Mayara Cazadini.

Análise combinatória de linhagens de milho-pipoca visando a resistência à podridão de espigas em condições ideais e restritas de nitrogênio no solo. / Mayara Cazadini Carlos. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2024.

77 f. : il.

Bibliografia: 39 - 64.

Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2024.
Orientador: Silvaldo Felipe da Silveira.

1. *Zea mays* var. *everta*. 2. *Fusarium spp.*. 3. adubação nitrogenada. 4. *topcross*. 5. híbridos. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 631.5233

ANÁLISE COMBINATÓRIA DE LINHAGENS DE MILHO-PIPOCA
VISANDO A RESISTÊNCIA À PODRIDÃO DE ESPIGAS EM
CONDIÇÕES IDEAIS E RESTRITAS DE NITROGÊNIO NO SOLO


MAYARA CAZADINI CARLOS

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutora em Genética e Melhoramento de
Plantas.”


Aprovada em 21 de março de 2024.

Comissão Examinadora:


Prof. Marcelo Vivas (D.Sc. em Genética e Melhoramento de Plantas) - UENF.


Prof.^a Monique Moreira Moulin (D.Sc. em Genética e Melhoramento de Plantas) - IFES


Dr. Yure Pequeno de Souza (D.Sc. em Genética e Melhoramento de Plantas) - UENF.


Prof. Silvalde Felipe da Silveira (D.Sc. em Agronomia/fitopatologia) - UENF
(Orientador)

DEDICATÓRIA

“A Deus, a minha família, e em especial, ao meu amado Heitor”

Dedico

AGRADECIMENTOS

Concluir este trabalho só foi possível graças ao apoio, compreensão, paciência, e dedicação de várias pessoas que se fizeram presentes ao longo dessa trajetória. Agradeço imensamente a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. É bom saber que em momentos de dificuldade existem pessoas com as quais podemos contar. Pessoas para as quais dedico toda a minha gratidão;

Agradeço a Deus por estar presente na minha vida, me guiando por toda trajetória;

Agradeço a toda minha família pelo incentivo, apoio e confiança conferidos a mim. Obrigada por estarem comigo nos bons e maus momentos, acreditarem na minha capacidade e não medirem esforços para me ajudar. Em especial ao meu marido e filho, que não me deixaram desistir no meio do caminho, nenhuma vitória será minha, será sempre nossa;

Ao meu orientador Silvaldo pela ajuda e compreensão depositada em mim, obrigada por toda confiança;

Ao Dr. Yure de Souza Pequeno por toda a paciência e compreensão presentes nos momentos de ensino e orientação, que mesmo em meio à correria de suas obrigações, sempre mostrou dedicado, disponível e paciente ao repassar seu conhecimento, serei sempre grata e será sempre lembrado com muita gratidão;

Aos professores Marcelo Vivas, Geraldo de Amaral Gravina, Antônio Teixeira de Amaral pelas valorosas contribuições ao longo deste trabalho;

À professora Monique Moreira Moulin, que me acompanha desde a graduação, e que me fez despertar o interesse pelo melhoramento genético ao longo das disciplinas lecionadas por ela e pela valorosa contribuição na minha tese;

A todos que fazem ou fizeram parte do laboratório LEF e LEAG, me faltam palavras para descrever a minha felicidade em ter feito parte desses incríveis grupos;

A todos os funcionários do Colégio Agrícola pela contribuição ao longo do experimento;

Aos amigos que fiz durante em minha morada em Campos dos Goytacazes, fica aqui o meu muito obrigada por tudo o que fizeram por mim e pela amizade ao longo de todos estes anos;

Agradeço ainda, a todos os professores que tive durante esses anos, pois sem os ensinamentos, dedicação e conselhos de cada um de vocês esse momento não seria possível;

Ao Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas e todos funcionários que trabalharam incansavelmente para que pudéssemos contar com um ensino de qualidade;

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF que me proporcionou a oportunidade de aperfeiçoamento;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) –, código de financiamento 001, pela concessão da bolsa de estudo.

“Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui. Nunca desista de seus objetivos, mesmo que esses pareçam impossíveis. A próxima tentativa pode ser a vitoriosa.” (Albert Einstein)

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1.INTRODUÇÃO	1
2.OBJETIVOS	4
2.1 Objetivos Geral.....	4
2.2 Objetivos Específicos.....	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1 Aspectos gerais da cultura do milho-pipoca.....	5
3.2 Melhoramento de milho-pipoca na UENF	7
3.3 A importância do nitrogênio na cultura do milho.	9
3.4 Podridão de espiga causada por <i>Fusarium spp.</i> na cultura do milho- pipoca.....	13
3.5 Melhoramento genético associado à podridão de espiga	15
3.6 Relação do nitrogênio com doenças fúngicas.....	16
3.7 uso de delineamentos genéticos na seleção de genitores e desenvolvimento de híbridos.....	17
4. MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1 Germoplasma avaliado	19
4.2 Obtenção dos <i>testcrosses</i> e condições experimentais	20
4.3 Delineamento experimental	22
4.4 Avaliação da podridão de espiga ocasionada por <i>Fusarium</i>	23

4.5 Análises genético-estatísticas	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
6. CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

RESUMO

CARLOS, Mayara Cazadini; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Fevereiro de 2024; Análise combinatória de linhagens de milho-pipoca visando a resistência à podridão de espigas em condições ideais e restritas de nitrogênio no solo; Orientador: D.Sc. Silvaldo Felipe da Silveira; Conselheiros: D.Sc. Antônio Teixeira do Amaral Junior e D.Sc. Marcelo Vivas.

A cadeia agroindustrial do milho-pipoca no Brasil desempenha um significativo papel sócio-econômico devido ao mercado extenso e em expansão, empregabilidade de mão de obra e preferência do consumidor pela pipoca. No entanto, a cultura enfrenta desafios importantes, como a podridão de espiga. Existem fatores ambientais que afetam diretamente a ocorrência de epidemias e a nutrição mineral das plantas desempenha um importante papel na resposta de defesa dos vegetais às doenças. Estudar o *status* nutricional conciliado à *performance* de genótipos de milho-pipoca quanto a resistência à podridão da espiga é importante não só para se definir melhor a adubação em condições de cultivo, mas também para embasar o melhoramento genético da cultura. No presente trabalho objetivou-se selecionar linhagens e combinações híbridas resistentes à podridão de espiga, sob condições ideais e restritas quanto à fertilização nitrogenada. Foram avaliadas 15 linhagens de milho-pipoca que foram cruzadas em um esquema de *topcross* com quatro testadores, que foram avaliados em duas condições de adubação com N, em Campos dos Goytacazes e em Itaocara. Foi utilizado o delineamento experimental de blocos completos com

arranjo em sets e três repetições. Após a colheita, foram avaliadas visualmente a incidência (IFER) e a severidade (SFER) da podridão da espiga. Foi efetuada análise dialélica de acordo com o método IV de Griffing (1956) adaptado a dialelos parciais para múltiplos ambientes. Verificaram-se efeitos significativos ($p < 0,01$) de *Testcrosses*, capacidade geral e específica de combinação (CGC e CEC) para incidência (IFER) e severidade (SFER) de podridão de espiga. As interações tanto para CGCxA quanto para CECxA também foram significativas. Observou-se que independentemente da condição de N, os efeitos de CEC foram mais importantes que os de CGC. Analisando as estimativas de CGC das linhagens para IFER e SFER, observou-se que as linhagens L683, L688 e os testadores L80 e L70 apresentaram boa CGC em Campos dos Goytacazes, nas condições experimentais. A linhagem L682 e os testadores P7 e L54 apresentaram boa CGC em Itaocara. Nas estimativas de CEC apenas uma combinação (L682xL80) foi capaz de reduzir a incidência e severidade da doença em ambos os ambientes. Concluiu-se que as condições de N afetaram a resposta dos genitores quanto a resistência a podridão de espiga e que os efeitos não-aditivos foram mais significativos para as características de incidência e severidade de podridão da espiga em ambas as localidades e para as duas condições de fertilização nitrogenada.

Palavras-chave: *Zea mays* var. *everta*; *Fusarium* spp.; adubação nitrogenada; *topcross*; híbridos.

ABSTRACT

CARLOS, Mayara Cazadini; D.Sc; State University of North Fluminense Darcy Ribeiro; February 2024; Combinatorial analysis of popcorn lines aiming at resistance to ear rot under ideal and restricted soil nitrogen conditions; Advisor: D.Sc. Silvaldo Felipe da Silveira; Counselors: D.Sc. Antônio Teixeira do Amaral Junior and D Sc. Marcelo Vivas.

The agro-industrial chain of popcorn in Brazil plays a significant socio-economic role due to the extensive and expanding market, labor employability, and consumer preference for popcorn. However, the crop faces important challenges, such as ear rot disease. There are environmental factors that directly affect the occurrence of epidemics, and plant mineral nutrition plays an important role in the plants' defense response to such biotic stresses. Studying the nutritional status combined with the screening/evaluation of popcorn genotypes for resistance to ear rot is important not only to better define fertilization practices under cultivation conditions but also to support the genetic improvement of the crop. Therefore, the objective of this work was to select popcorn inbred lines and hybrid combinations resistant to ear rot under ideal and restricted nitrogen (N) fertilization conditions. Fifteen popcorn maize inbred lines were evaluated, crossed in a topcross scheme with four testers, and evaluated under two N fertilization conditions in Campos dos Goytacazes and Itaocara. The experimental design used was a complete block design arranged in sets with three replications. After harvest, ear rot incidence (IFER) and severity (SFER) were visually evaluated. Diallel analysis was performed

according to Griffing's IV method (1956) adapted to partial diallels for multiple environments. For IFER and SFER significant genetic effects ($p < 0.01$) were found for testcrosses, general combining ability (GCA), and specific combining ability (SCA). The interactions for both $GCA \times A$ and $SCA \times A$ were also significant. It was observed that regardless of the N condition, the effects of SCA were more important than those of GCA. Analyzing the GCA estimates of the inbred lines for IFER and SFER, it was observed that lines L683, L688, and testers L80 and L70 showed good GCA in Campos dos Goytacazes under the experimental conditions. Line L682 and testers P7 and L54 showed good GCA in Itaocara. In SCA estimates, only one combination (L682×L80) was able to reduce the incidence and severity of the disease in both environments. It was concluded that the N conditions affected the inbred lines' response regarding resistance to ear rot and that non-additive effects were more significant for the incidence and severity characteristics of ear rot in both locations and under both nitrogen fertilization conditions.

Keywords: *Zea mays* var. *everta*; *Fusarium* spp.; nitrogen fertilizer; topcross; hybrids.

1. INTRODUÇÃO

O milho-pipoca (*Zea mays* L. var. *everta*) é considerado um tipo de milho especial e um dos cereais de grande importância comercial, tratando-se de um alimento nutritivo e de baixo custo de produção (Amaral Júnior et al., 2016; Lima et al., 2018). É caracterizado por possuir grãos pequenos e duros, com capacidade de estourar e expandir seu volume quando aquecidos a 180°C (Dalla-Costa et al., 2018). No Brasil, o estado do Mato Grosso se destaca como o maior produtor de milho-pipoca, produzindo mais de 60% do que é produzido no país. Na safra de 2020, a produção brasileira foi cerca de 103 milhões de toneladas de milho-pipoca (Kist et al., 2021). Havendo uma projeção de crescimento na produção de 48% para o final do ano de 2024 (Pereira Filho e Borghi, 2022). A sua produção tem exercido influência positiva em setores da economia nacional, por ser uma cultura de elevada rentabilidade, favorecendo a economia informal (Freitas Júnior et al., 2009). Como vantagem econômica, o milho-pipoca tem sua comercialização final em volume, o que possibilita agregar maior valor ao produto, resultando em maior lucratividade ao final do processo (Amaral Júnior et al., 2010). Entretanto, a baixa disponibilidade de cultivares de milho-pipoca com adaptação às diferentes condições agroclimáticas é um dos fatores que limitam a expansão da cultura no país (Filho et al., 2020). Além disso, o milho-pipoca é mais suscetível à ocorrência de agentes patológicos, especialmente os de natureza fúngica, tais como as podridões de espiga.

No Brasil, estudos sobre podridão de espiga mostram que *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg é o patógeno mais predominante associado à podridão da espiga no milho (Stumpf et al., 2013). A doença causa danos particularmente importantes para a cultura do milho em geral, pois além de causarem redução na produtividade das lavouras, também prejudicam a qualidade dos grãos colhidos, causando redução no peso e tamanho dos grãos, manchas, mofo e contaminação por fumonisinas, que são toxinas liberadas pelos fungos quando atacam as espigas, o que representa riscos à saúde dos consumidores (Gabriel et al., 2018). Acredita-se que 10 a 30% dos grãos colhidos sejam perdidos por infecções ocasionadas pelo desenvolvimento de fungos anualmente (Lino et al., 2004).

As doenças causadas por fungos reduzem o potencial de germinação das sementes, provocam a geração de focos de aquecimento e de migração de umidade na massa de grãos, aceleração a degradação de trocas químicas (Diniz, 2002), redução nos conteúdos de carboidratos, proteínas e açúcares, perda de peso, descoloração e necrose (Julian et al., 1995). Com isso, deprecia a qualidade final da pipoca, limitando a capacidade de expansão enquanto principal indicador da qualidade do milho-pipoca (Sawazaki, 2001). Existem diversas medidas de controle, porém, o uso de cultivares geneticamente resistentes é considerado o mais eficiente, econômico e ambientalmente sustentável.

Para reagir ao ataque de patógenos, as plantas possuem defesas pré-formadas ou podem ativar mecanismos de defesa que dependem do seu *status* nutricional (Bellincampi et al., 2014; Fagard et al., 2014), portanto, a deficiência nutricional debilita o hospedeiro contribuindo para sua suscetibilidade ao patógeno (Snoeiijers et al., 2000). O nitrogênio é responsável pela realização de processos vitais da planta, como síntese de proteína, absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular (Malavolta, 2006). Na cultura do milho é o elemento que causa maiores efeitos no aumento de produção e que interfere na interação planta-patógeno (Gomes et al., 2007; Duete et al., 2008; Fagard et al., 2014).

Apesar dos esforços de melhoramento genético para o desenvolvimento de cultivares de milho-pipoca resistentes, o número de estudos sobre podridão de espiga é menor em comparação com aqueles com milho comum (Kurosawa et al., 2017; Schwantes et al., 2017, 2018; Almeida et al., 2021, 2023). Além disso,

acredita-se que as quantidades de N disponível no solo pode modular as reações de resistência e de suscetibilidade da plantas às doenças (Pozza et al., 2001; Cornélio et al., 2007). Considerando que o Programa de Melhoramento de milho-pipoca da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) vem atuando no desenvolvimento de genótipos com maior eficiência no uso do nitrogênio e que também possam reunir características de resistência a doenças, julgou-se oportuno o desenvolvimento desse trabalho, cujo objetivo foi selecionar híbridos de milho-pipoca com potencial de resistência a podridão de espiga, sob condições ideais e restritas de nitrogênio no solo.

2.OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Selecionar híbridos e linhagens de milho-pipoca com potencial de resistência à podridão de espigas sob condições ideais e restritas de fertilização nitrogenada no solo.

2.2 Objetivos específicos

1. Determinar as capacidades de combinação geral e específica em linhagens S₇ e híbridos;
2. Identificar os efeitos gênicos envolvidos no controle da resistência à podridão de espiga;
3. Identificar e selecionar linhagens e combinações híbridas superiores quanto a resistência à podridão da espiga sob condições ideais e restritas de fertilização nitrogenada no solo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Aspectos gerais da cultura do milho-pipoca

O milho-pipoca é uma espécie originária do Continente Americano e sua utilização é exclusiva para o consumo humano (Pinho et al., 2003). É uma espécie botânica pertencente à família Poaceae, subfamília Panicoideae, tribo Maydeae (Goodman e Smith, 1987). É uma planta alógama, ou seja, os descendentes são em sua grande maioria, decorrentes de polinização cruzada (Zinsly e Machado, 1987; Viana et al., 2009) e a espécie é classificada como diploide ($2n = 20$), além de possuir um crescimento herbáceo (Vilarinho, 2001).

Os gametófitos masculinos são produzidos no pendão, a inflorescência masculina está localizada no ápice da planta, enquanto os gametófitos femininos são produzidos na espiga, ou boneca, inflorescência feminina, que se desenvolve na axila de uma ou duas folhas e se localiza na parte central da planta (Barghini, 2004; Viana et al., 2009).

Existem diversas teorias sobre sua origem, a mais aceita é a defendida por Beadle (1978) e Galinat (1977), onde sugere que o milho tenha se originado de forma direta e unicamente do teosinto, por intermédio de intensa seleção praticada pelo homem. A hipótese defendida por Weatherwax (1954), acredita que o milho, o teosinto e o *Tripsacum* spp. se originaram de um ancestral comum. Já a hipótese defendida por Mangelsdorf (1974) consta que o teosinto tenha se originado do milho; portanto, o milho seria o genoma ancestral. A teoria da sua origem se

confunde com a de outros tipos de milhos, pois sabe-se que os índios das Américas Central e do Sul já tinham o hábito de aquecer e estourar milhos, segundo Gama et al. (1990).

Embora o milho-pipoca apresente muitas especificidades que o distingue dos demais tipos de milho, a principal característica da cultura é a capacidade de expansão (CE), que é definida pela razão entre a massa e o volume de grãos de milho (Guadagnin, 2002). As características que conferem a capacidade de expansão aos grãos de milho-pipoca, se devem ao fato de os grãos serem mais duros que o milho comum. Como também, apresentarem pericarpo rígido e um distanciamento entre os grânulos de amido no interior do grão (Machado e Bermudez, 2020). Sendo portanto, considerados um tipo de grão especial (Da Cruz et al., 2019).

Ao ser comparadas com o milho comum, as plantas de milho-pipoca, são mais precoces, menores, com menor número de folhas, limbo foliar estreito, maior tamanho de pendão, espigas menores, inserção de espiga mais alta, maior suscetibilidade a doenças e a pragas, e menor produtividade de grãos (Ziegler e Ashman, 1994; Pricinotto, 2009).

A respeito dos estresses bióticos, a cultura do milho-pipoca apresenta maior susceptibilidade a doenças quando comparados ao milho comum (Zinsly e Machado, 1987; Carpentieri-Pípolo et al., 2002). Portanto, o desenvolvimento de genótipos com alto potencial agrônômico é fundamental para estimular a expansão do cultivo do milho-pipoca (Amaral Júnior et al., 2013).

A cultura vem sendo utilizada há pelo menos 5.000 anos, sendo considerado uma das culturas mais antigas do mundo (Borém e Miranda, 2013). Seu consumo tem sido crescente, fazendo com que o Brasil procure desenvolver estudos para amplificar o seu cultivo, com o objetivo de ser menos dependente da importação do produto final para abastecer a demanda nacional de pipoca e de sementes americanas (Scapim et al., 2006).

A nível mundial, os Estados Unidos é o maior produtor de pipoca seguido pelo Brasil que mesmo assim, ainda necessita da importação para suprir a demanda interna dos consumidores (Sangiovo et al., 2021). O alto volume de importação da pipoca que, em determinados períodos, chegou a ser de aproximadamente 75%, proveniente dos Estados Unidos e Argentina (Sawazaki, 2001, Scapim et al., 2006, Carvalho et al., 2015) se dá pela escassez de produção

para atender a demanda interna e em parte a carência de híbridos e variedades nacionais que consigam aliar boa produtividade com a qualidade da pipoca, além de uma escassez de informações sobre práticas culturais que são empregadas nessa cultura (Brugnera et al., 2003; Vieira et al., 2017).

A cultura é promissora, com alto valor agregado, fato que eleva a renda do pequeno produtor (Souza et al., 2004). Segundo Cotapel (2020), o preço da saca do milho-pipoca é bem superior ao preço pago à saca do milho grão, com preços capazes de superar em até duas a três vezes o milho comum, portanto é considerada de grande rentabilidade, cujo produto final possui grande aceitação, sendo utilizado na alimentação de adultos e crianças, ativando a economia informal (Rodovalho et al., 2008; Silva et al., 2009; Rangel et al., 2011).

No Brasil, o estado do Mato Grosso é o maior produtor de milho-pipoca, representando mais de 60% da produção nacional (IBGE, 2023). E a produção é realizada majoritariamente por pequenos agricultores e empresas nacionais de cunho privado (Pereira Filho et al., 2021).

Em relação aos programas de melhoramento nacionais, no Brasil algumas instituições públicas desenvolvem programas de melhoramento funcionais com a cultura do milho-pipoca, a saber: Universidade Estadual de Maringá (UEM), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Universidade Federal do Cariri (UFCA), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Universidade Estadual de Londrina (UEL) e o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).

3.2 Melhoramento de milho-pipoca na UENF

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) desenvolve um Programa de Melhoramento de Milho-Pipoca iniciado com o professor Joachim Friedrich Wilhelm von Bülow no ano de 1993, pela seleção de um composto indígena doado pela Universidade de Brasília pela ESALQ/USP (Pena, 2015). O composto indígena foi denominado UNB-1, e com ela, a UENF iniciou seu Programa de Melhoramento cruzando a UNB-1 com uma variedade de polinização aberta SAM (South America Mushroom) buscando agregar capacidade de expansão aos grãos. A geração proveniente desse cruzamento foi cruzada com outra variedade de grãos amarelos e que apresentavam fonte de resistência à helmintosporiose causada por *Exserohilum turcicum* (Pass.) K. J. Leonard & E. G.

Suggs. Logo após esse processo, a população foi submetida a dois ciclos de seleção massal e posteriormente retrocruzada com a variedade SAM por mais três gerações, dando origem a população UNB-2 (Guimarães, 2016), que por sua vez, foi submetida a outros dois ciclos de seleção massal, dando origem a população UNB-2U. Em 2001, Pereira e Amaral Júnior inferiram sobre o potencial de exploração de efeitos gênicos aditivos para aumento nos ganhos em capacidade de expansão por meio do delineamento genético de Comstock e Robinson (Delineamento I) na população UNB-2U (Pereira e Amaral Júnior, 2001).

Com isso, foi iniciado o programa de seleção recorrente intrapopulacional na população UNB-2U, que após seis ciclos de seleção recorrente entre os anos de 2001 e 2012, resultou no lançamento da primeira cultivar de milho-pipoca da universidade, a cultivar UENF 14 (Amaral Júnior et al., 2013).

No ano de 2012, o programa recebeu 10 linhagens endogâmicas do Banco de Germoplasma da UEM, que foram cruzadas com o germoplasma da UENF e gerou a cultivar UENF UEM 01 (Cabral et al., 2015). No ano de 2017, o Banco de Germoplasma da UENF passou a ter 194 linhagens em estágio S7, sendo as mesmas extraídas de 25 diferentes populações de polinização aberta. Entre os anos de 2012 e 2017, foram realizados três ciclos de seleção recorrente intrapopulacional na população 'UENF 14' (Freitas et al., 2014; Amaral Júnior et al., 2016; Mafra et al., 2019). Em 2015, iniciou-se o desenvolvimento de híbridos simples a partir de linhagens endogâmicas, o que possibilitou o registro de oito cultivares: 'UENF HS 01', 'UENF HS 02', 'UENF HS 03', 'UENF HS 04', 'UENF HS 05', 'UENF HS 06', 'UENF EXPLOSÃO', 'UENF DIVÍBRIDO' (Almeida, 2022).

Atualmente, o Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas da UENF possui diferentes linhas de pesquisas, como a utilização de procedimentos biotecnológicos aplicados à execução da seleção recorrente genômica, melhoramento por meio de cruzamentos dialélicos e de *testcrosses* entre linhagens e variedades, investigações da eficiência no uso de fósforo, nitrogênio, tolerância a déficit hídrico e também estresses bióticos, como resistência a doenças fúngicas. As quais possibilitaram o lançamento de algumas cultivares importantes, como os híbridos simples lançados de 2017 a 2021: UENF HS 01', 'UENF HS 02', 'UENF HS 03', 'UENF HS 04', 'UENF HS 05', 'UENF HS 06', 'UENF EXPLOSÃO', 'UENF DIVÍBRIDO', o híbrido simples para deficit hídrico 'UENF WS

01' e os híbridos simples lançados para eficiência no uso de N e P, 'UENF N 01', 'UENF N 02', 'UENF N 03', 'UENF P 01', 'UENF P 02', 'UENF P 03'.

3.3 A importância do nitrogênio na cultura do milho.

O nitrogênio é um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade pelas plantas, podendo interferir em diversas características relacionadas ao crescimento e desenvolvimento fatores estes que estão diretamente relacionados com a produtividade (Cobucci, 1991). Ele é responsável pelo processo de fotossíntese, atua na produção de proteínas das culturas, na molécula de clorofila, na composição dos aminoácidos e na ação de diversas enzimas, por isso é essencial para o desenvolvimento da vegetação e participa das fases de crescimento, floração e frutificação (Ramos, 2020). Pode ser absorvido pelas plantas na forma de nitrato (NO_3) ou amônio (NH_4).

É um nutriente que desempenha um papel importante no agronegócio devido à sua importância como um dos principais nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. O uso adequado e eficiente do nitrogênio é fundamental para otimizar a produção agrícola, a qualidade dos produtos e a rentabilidade. Portanto, o uso eficiente e responsável do nitrogênio é essencial para maximizar os benefícios econômicos, sociais e ambientais do setor agrícola.

O Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, mas suas importações de NPK (percentual em relação ao consumo total) aumentaram de 32% em 1988 para cerca de 70% em 2015, e para mais de 80% em 2020, com valor que supera 9 bilhões de dólares (Farias et al., 2021).

As projeções para 2030 apontam aumentos na demanda global de fertilizantes químicos próximo de 69 milhões de toneladas, sendo que 67% desse valor corresponde ao uso dos fertilizantes a base de nitrogênio (Pires et al., 2015).

Em 2022 o Brasil consumiu 41,078 milhões de toneladas de fertilizante nitrogenado (ANDA, 2022). Sendo aproximadamente 85% dos fertilizantes consumidos no país importados (Teixeira, 2021), o que demonstra ainda grande dependência externa. Os fertilizantes nitrogenados que são importados pelo Brasil são provenientes principalmente da Rússia e China (Fernandes et al., 2022; CNA, 2022). Atualmente, o conflito na Europa está reduzindo as disponibilidades de commodities agrícolas tais como os fertilizantes, impactando o sistema alimentar

global que já enfrentava os desafios causados pela pandemia do Covid-19 e pelas mudanças climáticas (IFA, 2022).

O fertilizante nitrogenado mais utilizado no Brasil e no mundo é a ureia (IFA, 2013). Esta fonte se destaca devido a sua elevada concentração de nitrogênio (N), sua alta solubilidade em água e facilidade de mistura com outras fontes. Porém, a ureia possui elevada suscetibilidade à volatilização de amônia (NH₃), um tipo de perda que é mais intensificado em países de regiões tropicais, como o Brasil, onde há predomínio de altas temperaturas na maior parte do ano. (Frazão et al., 2014; Reetz JR, 2017).

Entretanto, a necessidade do uso de altos níveis de fertilizantes utilizados pela agricultura atual gera certo estado de preocupação, pois existem consequências associadas a causa do uso irracional destes insumos, como a eutrofização das águas superficiais, lixiviação de nitrato para as águas subterrâneas e emissão de gases de efeito estufa (Dungait et al., 2012; Marks et al., 2013; Spolaor et al., 2016). Através da desnitrificação, o gás resultante (óxido nitroso) reage com o oxigênio, se transforma em um gás de efeito estufa que tem potencial de aquecimento global muito maior do que o CO₂. Além disso, sua emissão é a que mais desgasta a camada de ozônio (IFA, 2015; Abranches et al., 2016; Ecodebate, 2020). As emissões de N₂O geradas pelos fertilizantes à base de nitrogênio atingiram 37,5 milhões de toneladas de CO₂ no Brasil em 2021, segundo levantamento do Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (Seeg).

Além dos problemas ambientais, os custos com fertilizantes químicos podem impactar 19,10%, chegando até 41,39% do custo total de produção da cultura do milho, no qual esse valor para o milho-pipoca pode ser ainda superior, tornando a busca de materiais com maior eficiência da adubação nitrogenada, uma das principais características a serem levadas em consideração por pesquisadores e produtores (Furlaneto et al., 2010; CONAB, 2018; Artuzo et al., 2018).

A falta de nitrogênio nas plantas causa retardamento no crescimento e clorose nas folhas, deixando-as com tom verde-amarelado, podendo causar até perda foliar (Colombo, 2017; Ramos, 2020;). Além de afetar negativamente muitos aspectos da crescimento e desenvolvimento das plantas em diversos estágios morfofisiológicos. Quando há deficiência de N ocorre diminuição da duração das folhas verdes (metabolicamente ativas) interferindo na produção de massa seca (Malavolta et al., 1976) e conseqüentemente sobre a produtividade da cultura. Além de afetar o

crescimento do sistema radicular, o tamanho das espigas, o número e massa de grãos e sanidade de grão, além de componentes da produtividade como a massa de 1000 grãos e número de espigas por planta (Melgar et al., 1991; D'andrea et al., 2022; Ludemann et al., 2022); a altura de plantas (Davide, 1967); o comprimento da espiga (Balko e Russell, 1980; Abubakar et al., 2019); o diâmetro do colmo (Pereira Filho, 1977); a inserção da espiga e o número de plantas acamadas e quebradas (Godoy Júnior e Graner, 1964).

A maior demanda de N pela cultura do milho se dá a partir do estágio de quatro a cinco folhas expandidas (V4 e V5), quando o suprimento insuficiente nessa fase pode levar a uma redução na diferenciação do número de óvulos nos primórdios da espiga e no número de espigas por planta, reduzindo assim o potencial produtivo da cultura (Mengel e Barber, 1974; Coelho et al., 2003).

A nível de campo, observa-se que vários agricultores têm utilizado as recomendações de adubação do milho comum para a cultura do milho-pipoca, de forma adaptada. Isso ocorre, principalmente, em função dos resultados experimentais para a cultura do milho-pipoca serem escassos.

Atualmente, no Brasil, para a cultura do milho são recomendadas doses de N que variam de 30 a 40 kg ha⁻¹ na semeadura (adubação de semeadura) e 140 a 180 kg ha⁻¹ em cobertura (Sousa e Lobato, 2004). No entanto, devido diferenças de potenciais produtivos entre eles, as doses de fertilizantes utilizadas para o milho-pipoca podem estar sendo superestimadas (Nunes, 2003; Brugnera et al., 2003).

A quantidade de nitrogênio a ser aplicado deve ser definida levando em consideração a produtividade almejada, a cultivar utilizada, a fertilidade e classe do solo, o clima local, a época de semeadura, a cultura antecessora e o sistema de produção adotado (Pöttker e Wiethölter, 2004).

Um estudo feito por Ferreira et al. (2001), com relação ao efeito da adubação nitrogenada em quatro doses (0; 70; 140 e 210 kg ha⁻¹) sobre a produção e qualidade de grãos, mostraram que a produção de grãos, o número de espigas por planta, a massa das espigas com e sem palha e a massa de 1.000 grãos aumentaram com o incremento das doses de N.

Já Soares (2003), constatou que a aplicação de N na dose de 120 kg ha⁻¹ proporcionou aumento tanto da produtividade de grãos quanto de uma série de outras variáveis que contribuiriam para esse aumento, tais como diâmetro do colmo, comprimento da espiga, massa seca de espiga e prolificidade, sendo que a

aplicação do dobro da dose (240 kg ha⁻¹) não resultou em acréscimo significativo nos valores obtidos.

Gomes et al. (2007) observaram aumento da produtividade de grãos e massa de grãos por espiga em função do aumento das doses de N aplicado, sendo que os maiores valores foram obtidos com a dose de 150 kg de N.ha⁻¹.

A quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho varia durante o ciclo da planta, em função da quantidade de raízes, da taxa de absorção por unidade de massa de raiz, dos condicionantes do ambiente e do estágio fenológico em que se encontra (Martin et al., 2013). Isso ressalta a importância de estudos específicos para a cultura do milho-pipoca, para que não ocorra perdas de N decorrentes do excesso de aplicação do fertilizante na busca da produtividade máxima.

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) vem produzindo pesquisas para aumentar a eficiência no uso do N em milho-pipoca. Em seus estudos Santos et al., (2002) avaliaram um conjunto de híbridos de milho-pipoca sob condições contrastantes de N e selecionaram 14 híbridos com potencial para serem utilizados comercialmente por serem eficientes no uso do nitrogênio e com boa produtividade, e constataram ainda que esses híbridos foram oriundos de pais contrastantes quanto à eficiência e responsividade do nitrogênio.

De Souza (2021) avaliou a *performance* de 90 híbridos *topcrosses* obtidos do cruzamento de 15 linhagens e 6 testadores em ambientes contrastantes quanto a eficiência no uso do nitrogênio (condições ótimas e de restrição) e obteve duas linhagens com boas características, que podem exploradas no desenvolvimento de híbridos eficientes no uso do nitrogênio. E também obteve duas combinações híbridas que se sobressaíram para as características de rendimento de grãos e capacidade de expansão em ambas as condições de disponibilidade de nitrogênio, sendo indicadas como opções de cultivo para produtores que dispõem ou não de alto nível tecnológico.

Kurosawa (2019) avaliou o potencial genético de genótipos de milho-pipoca em resposta as helmintosporiose comum e maidis em condições contrastantes na disponibilidade de nitrogênio, averiguando o impacto dos níveis de adubação e fez uma seleção de genitores que possuem alelos de resistência, além de indicar as melhores combinações híbridas para resistência às helmintosporioses. Os resultados demonstraram grande influência da adubação sobre as características estudadas, também mostrou a prevalência de efeitos gênicos não-aditivos no

controle das helmintosporioses, e destacou linhagens e combinações híbridas com potencial para adaptação a ambientes pobres em N.

3.4 Podridão de espiga causada por *Fusarium spp.* na cultura do milho-pipoca

No Brasil, a cultura do milho-pipoca tem a sua produção de grãos reduzidos, devido à ocorrência de patógenos causadores de diversas doenças, dentre as quais destacam-se as podridões de espiga e de grãos (Casela et al., 2006).

A podridão da espiga se constitui em uma das principais doenças que afetam a cultura do milho-pipoca, afetando diretamente a qualidade dos grãos. Os fungos associados ao que se denomina “grãos ardidos” correspondem às espécies de *Fusarium*: *Fusarium graminearum* Schwabe (teleomorfo, *Gibberella zeae* (Scw.) Petch) e *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg (sinônimo, *Fusarium moniliforme* Sheldon; teleomorfo, *Gibberella moniliformis*, sinônimo, *Gibberella fujikuroi*).

Os fungos do gênero *Fusarium* pertencem à Ordem *Hypocreales* do Filo *Ascomycota*, no Reino Fungi (Alexopoulos et al., 1996; Marques, 2020). Mundialmente, as espécies mais importantes associadas à podridão de espigas do milho são *Fusarium verticillioides* e *Fusarium proliferatum* (Vismar et al., 2019). No Brasil, estudos sobre podridão de espiga em milho-comum demonstram que *F. verticillioides* é o patógeno predominante (Stumpf et al., 2013).

O *Fusarium verticillioides* [sinônimo, *Fusarium moniliforme* Sheldon; teleomorfo, *Gibberella moniliformis* (sinônimo, *Gibberella fujikuroi*)] é um agente patogênico primário da cultura do milho com ampla distribuição mundial, sendo favorecido em climas temperados (Scarpino et al., 2015). Caracteriza-se como um fungo cosmopolita, sendo encontrado no solo, ar, plantas e em diversos alimentos (Urban et al., 2009), causando perdas econômicas significativas para produtores e processadores de grãos (Lanza et al., 2012).

F. verticillioides é uma espécie frequentemente encontrada em sementes e grãos de milho. A contaminação dos grãos ocorre principalmente por meio da infecção dos estigmas pelos conídios disseminados pelo ar ou pela água. Próximo à colheita, a infecção das espigas é agravada por ferimentos causados por insetos e pela chuva. Porém, a contaminação via inoculação de sementes também pode

ocorrer por meio de colonização sistêmica por crescimento micelial endófito. (Willians e Munkvold, 2008).

No Brasil, a ocorrência do patógeno atinge todas as regiões produtoras de milho (Nerbass et al., 2008), entretanto é mais encontrado em regiões com climas mais quentes e mais secos. As temperaturas e altitudes ideais para o patógeno estão perto de 30°C e abaixo de 700 m, respectivamente (Munkvold, 2003). O fungo pode sobreviver no solo por meio de estruturas de resistência e, ainda, em estruturas internas das sementes, como o embrião (Ramos et al., 2014). Além de condições ambientais favoráveis, as práticas de pré-colheita (por exemplo, rotação de culturas e seleção de variedade de milho) afetam a ocorrência de espécies de *Fusarium* em campos de milho (Tran et al., 2021).

Os sinais da doença se manifestam na espiga com grãos apresentando coloração rosa, dispersa isoladamente ou em grupos, em alguns casos os grãos podem aparecer recobertos por micélio cor de rosa, sendo que quando a infecção ocorrer tardiamente, os grãos apresentam várias estrias brancas, também denominados “grãos ardidos” (Pereira et al., 2005; Sabato et al., 2013). Ainda segundo White (1999) eventualmente, as espécies de *Fusarium* podem colonizar os grãos sem produzir sintomas de descoloração ou podridão.

De acordo com Mendes et al. (2012) a infecção deste fungo faz com que ocorra a paralisação do processo de enchimento de grãos, redução de peso da espiga, sendo portanto um objeto de estudo a ser explorado, uma vez que estão diretamente relacionados com a baixa produtividade e baixa qualidade dos grãos de milho (Broders et al., 2007).

Além das perdas na qualidade dos grãos, outra fonte de preocupação é a produção de micotoxinas (fumonisinas), que têm sido associadas ao desenvolvimento de doenças hepáticas em humanos e insuficiência cardíaca e paralisia neural em animais domésticos e aves, dentre outros efeitos deletérios a produção de carne e ovos (Ross et al., 1990; Missmer et al., 2006; Bordini et al., 2013). Como medida de controle, o uso de cultivares de milho com resistência genética à podridão da espiga consiste no método mais viável, ambientalmente seguro e econômico (Casela et al., 2006; Vieira et al., 2009; Stagnati et al., 2019). Para a comercialização do milho, é aceitável, um valor máximo de 2% de grãos ardidos para exportação e de até 6% de incidência de grãos ardidos para o mercado interno milho (Mendes et al., 2012).

Dessa maneira, a presença do fungo nas sementes reveste-se com uma importância extra, não somente devido aos danos econômicos que suporta, mas também pelo perigo do consumo dos grãos e alimentos derivados contaminados por toxinas (Lanza et al., 2012).

3.5 Melhoramento genético associado à podridão de espiga

Apesar das doenças na cultura do milho-pipoca constitui um fator preocupante, pois existem várias alternativas que podem ser utilizadas para seu controle, permitindo evitar perdas consideráveis na produção, como o plantio antecipado e rotação de culturas (Meneghetti Hoffmann, 2004), no entanto, a utilização de cultivares resistentes é a medida de controle mais eficiente, econômica e ambientalmente correta (Schuelter et al., 2003; Jardine e Laca-Buendia, 2009).

A resistência genética pode ser definida como a habilidade do hospedeiro suportar (parcial ou completamente), o crescimento e desenvolvimento do patógeno, sendo o método mais racional e prático que existe (Bespalhok et al., 2007; Kaefer, 2017).

No melhoramento do milho, o foco principal é a obtenção de genótipos que possuam elevado potencial produtivo e resistência às principais doenças, atendendo às necessidades apontadas pelo atual nível tecnológico e pelas tendências e exigências do mercado (Gralak et al., 2015). Dessa forma, o desenvolvimento de linhagens resistentes a doenças foliares é um dos objetivos dos programas de melhoramento genético de milho (Silveira et al., 2006).

Apesar das pesquisas relacionadas à resistência a doenças em milho-pipoca ainda serem escassas (Ribeiro et al., 2016; Vieira et al., 2016) alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos para esse fim. Almeida et al. (2021) identificaram genitores e híbridos de milho-pipoca com resistência à podridão de espiga com base na capacidade combinatória, e concluíram que os efeitos genéticos aditivos e não aditivos são importantes na resistência da doença. Kurosawa (2017) estudou acessos do Banco de Germoplasma da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, e concluiu que a coleção de germoplasma tropical e temperado avaliada fornece combinações favoráveis a resistência a doenças que afetam espigas e grãos armazenados. Schwantes et al. (2018) realizaram um

estudo sobre a herança da resistência à podridão de espiga, em milho-pipoca, e concluíram que a resistência é controlada por genes dominantes, e ainda recomendam a exploração da heterose usando linhagens consanguíneas com alelos favoráveis para resistência à doença em estudo.

O desenvolvimento de genótipos é um trabalho intenso, uma vez que envolve desde a identificação de fontes de resistência e estudo do controle genético, até a elaboração e execução de estratégias eficientes na transferência dos alelos de resistência para as linhagens elites de milho que participam dos híbridos comerciais (Souza et al., 2004). O problema é ainda mais agravado devido à influência intensa de condições ambientais nas regiões produtoras de milho, havendo genótipos que se destacam em alguns ambientes em detrimento de outros (Juliatti et al., 2007).

Os ganhos genéticos para resistência a doenças são essenciais, uma vez que a suscetibilidade leva à redução de rendimento e qualidade de grãos, resultando na desvalorização comercial do produto (Hallauer e Miranda Filho, 1988, Sweley et al., 2012).

Segundo Michereff (2001) existem três etapas a serem levadas em consideração em programas de desenvolvimento de cultivares resistentes: 1) Identificar fontes de resistência; 2) Por meio dos métodos de melhoramento, incorporar estes genes em cultivares comerciais; 3) Após a obtenção de um cultivar resistente, escolher a melhor estratégia para que a resistência seja durável frente às populações patogênicas. Por isso, os programas de melhoramento genético estão em constante desenvolvimento para criar variedades mais resistentes às principais doenças, incluindo a podridão de espiga causada por *Fusarium*. De acordo com Costa et al. (2010) existem 13 cultivares de milho que apresentaram valores médios de grãos ardidos abaixo de 5%. Porém, até o momento, não existem cultivares de milho-pipoca totalmente resistentes à doença (Bush et al., 2004; Balconi et al., 2014), tornando a busca de materiais resistentes um importante fator a ser considerado.

3.6 Relação do nitrogênio com doenças fúngicas

Ballini et al. (2013) afirmam que a resistência a doenças está relacionada à eficiência no uso do nitrogênio, pois quando são fornecidos de forma adequada, a planta apresenta maior capacidade de reação à doença, porém o excesso ou

deficiência predis põem as plantas aos agentes causais de doenças (Walters e Blinghan, 2007; Cornélio et al., 2007; Bedendo et al., 2018). Ou seja, o nutriente em baixa ou alta disponibilidade pode modular a reação do hospedeiro quando exposto à invasão de patógenos (Camañes et al., 2012; Manóza et al., 2017; Huang et al., 2017).

Os efeitos dos nutrientes afetam desde o padrão de crescimento, morfologia, anatomia, até a composição química das plantas, podendo predispor o estabelecimento de enfermidades ou pragas devido ao desequilíbrio nutricional (Paiva et al., 2013). A deficiência de nitrogênio provoca subdesenvolvimento das plantas, tornando menos vigorosas, além de comprometer o metabolismo e reduzindo seu potencial de produção proteica e também de proteínas relacionadas à defesa da infecção (PR proteínas) (Hoffland et al., 2000; Dietrich et al., 2004).

Alguns autores sugerem que altas concentrações de N resultam na produção de tecidos jovens, prolongando o estágio vegetativo das plantas e as expõe cada vez mais a condições propícias à infecção dos patógenos (Yamada, 2004; Cornélio et al., 2007, Seabra Junior et al., 2013). Estudos apontam que a incidência e a severidade de doenças fúngicas tendem a aumentar em condições de maior disponibilidade de nitrogênio, geralmente, para a maioria das plantas (Reid et al., 2001; Sun et al., 2020). Por outro lado, alguns trabalhos relatam que a alta disponibilidade de N diminui a gravidade da infecção por fungos como os do gênero *Fusarium* (Dordas, 2008), o que sugere que os efeitos das doses de nitrogênio nas doenças das plantas dependem da combinação planta-patógeno.

3.7 uso de delineamentos genéticos na seleção de genitores e desenvolvimento de híbridos

Estudos comparativos entre genótipos que são submetidos a um grande número de ensaios podem apenas indicar suas respectivas *performances* como resultado da variabilidade genética existente. No entanto, esses estudos não fornecem informações sobre a capacidade de transmitir características de interesse à progênie quando esses genótipos são cruzados com outros (Cruz et al., 2012). Portanto, quando o objetivo for selecionar genitores para estudos envolvendo hibridações, a seleção baseada apenas em desempenhos agrônômicos não é suficiente para garantir o potencial genético da progênie.

A fim de conhecer a capacidade de um indivíduo em transmitir alelos de interesse para as gerações posteriores, melhoristas de plantas têm lançado mão da avaliação dos indivíduos descendentes dos genótipos a serem selecionados. Para tanto, têm adotado o uso de delineamentos genéticos, os quais se constituem de esquemas de cruzamentos controlados de forma que permitam ao melhorista, conhecer o parentesco entre os indivíduos (Viana e Resende, 2014).

Além de possibilitar o conhecimento sobre o potencial de transmissão de alelos de cada indivíduo, o conhecimento da matriz de parentesco entre as progênes avaliadas possibilita estudos de efeito gênico para aqueles loci envolvidos na expressão do caráter em estudo (Hallauer e Miranda Filho, 1988).

No melhoramento genético de culturas alógamas, a exemplo do milho, o uso de delineamentos genéticos como dialelos e *topcross* têm sido empregado em larga escala para obtenção de híbridos superiores em paralelo à escolha de genitores de interesse para o programa de melhoramento (Bisen et al., 2017; Fristche-Neto et al., 2018; Tesfaye et al., 2019; Kurosawa et al., 2021).

A análise dialélica é um método pelo qual os desempenhos dos genitores e da progênie podem ser estatisticamente desdobrados em componentes associados à capacidade geral e específica de combinação (Hallauer e Miranda Filho, 1988; Cruz et al., 2012; Murtadha et al., 2016). O método objetiva estimar parâmetros importantes para a seleção de genitores com características promissoras com base na capacidade geral de combinação e compreender os efeitos genéticos envolvidos na expressão das características (Griffing, 1956; Pfann et al., 2009).

O *testcross* é um método de melhoramento, proposto por Davis (1927), que é realizado a partir de cruzamentos, cujo objetivo principal é avaliar a capacidade geral e específica das linhagens em combinações híbridas, descartando aquelas que não apresentam desempenho agrônômico satisfatório. O processo de cruzamento baseia-se na utilização de um ou mais genótipos testadores com uma série de linhagens ou progênes a serem avaliadas (Miranda Filho et al., 1987; Vencovsky e Barriga, 1992; Sawazaki et al., 2004).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Germoplasma avaliado

Foram utilizadas 15 linhagens endogâmicas S_7 de milho-pipoca (utilizadas como genitoras femininas) derivadas da variedade de polinização aberta UENF-14. Essa variedade foi desenvolvida após cinco ciclos de seleção recorrente intrapopulacional conduzidos nas regiões norte e noroeste do Rio de Janeiro – Brasil. Portanto, a UENF- 14 é adaptada as condições tropicais (Amaral Júnior et al., 2013). Essas linhagens foram cruzadas em esquema de *topcross* com quatro testadores (L70, P7, L54 e L80) de base genética estreita (utilizados como genitores masculinos), totalizando 60 híbridos *testcrosses*.

As linhagens foram obtidas partir da variedade de polinização aberta UENF-14 (C_5), na safra de 2011/2012. Foi dado início ao processo de extração de linhagens no campo experimental da Escola Estadual Agrícola Antônio Sarlo, em Campos dos Goytacazes, RJ. As famílias S_1 foram obtidas a partir da autofecundação de plantas da população UENF-14 de ciclo C_5 . Na geração S_3 , foram realizados ensaios com testadores e selecionadas as linhagens mais promissoras com base na capacidade de combinação para as principais características da cultura. Após essa seleção, foram realizadas várias gerações de autofecundação, até que sementes S_7 desses materiais fossem obtidas em plantas S_6 . Assim, foi realizada a multiplicação das sementes S_7 , resultando em 15

linhagens S₇. E essas linhagens foram utilizadas no presente estudo, já que foram melhoradas para as condições locais.

Já para os testadores foram utilizadas quatro linhagens S₇: L70, P7, L54 e L80. Estas foram escolhidas por não serem relacionadas com as linhagens extraídas da população UENF-14. O testador L70 é originário da linhagem BRS Angela, e em trabalhos anteriores obtiveram resultados satisfatórios para resistência a podridão de espiga (Schwantes et al., 2017). A P7 é uma linhagem derivada do híbrido Zaeli, que possui resistência a doenças foliares, como a helmintosporiose (Kurosawa, 2016), mas não há relatos acerca da resistência e suscetibilidade à podridão da espiga. A linhagem L54 foi originária da cultivar Beijaflo, e obteve um bom desempenho em trabalhos anteriores quanto à resistência a doenças foliares (Mafrá, 2016), porém ainda não há informação acerca da sua resistência a podridões de espiga. A linhagem L80 foi obtida da linhagem Viçosa, que obteve uma boa *performance* quanto a resistência à podridão de espiga (Almeida, 2022).

4.2 Obtenção dos *testcrosses* e condições experimentais

Os 60 híbridos *testcrosses* juntamente com três híbridos simples - UENF N 03, HS 01 e HS 02 - utilizados como testemunhas, foram avaliados na safra de verão do ano agrícola de 2019/2020, em duas condições contrastantes quanto a aplicação de N no solo (com e sem adubação com ureia em cobertura), e em dois locais – no Colégio Agrícola, em Campos dos Goytacazes e na estação experimental de Itaocara, RJ. O Colégio Estadual Agrícola Antônio Sarlo, está localizado no município de Campos dos Goytacazes, região Norte do estado do Rio de Janeiro, localizado a 21° 45" de latitude sul e 41° 20" de longitude e a 11 m de altitude, com uma precipitação média anual de 1.023 mm e evapotranspiração potencial de 1.601 mm anuais, apresentando temperatura média anual de 23°C. A Estação Experimental da PESAGRO-RIO, está localizada em Itaocara, na região Noroeste do estado do Rio de Janeiro, georreferenciada a 21° 39" de latitude sul e 42° 04" de longitude, com 60 m de altitude, temperatura média anual de 22,5°C e precipitação média anual de 1.041 mm (Santos Junior, 2023). O clima das regiões é caracterizado como tropical úmido (Aw), apresentando verões quentes e invernos amenos segundo a classificação de Köppen (1948).

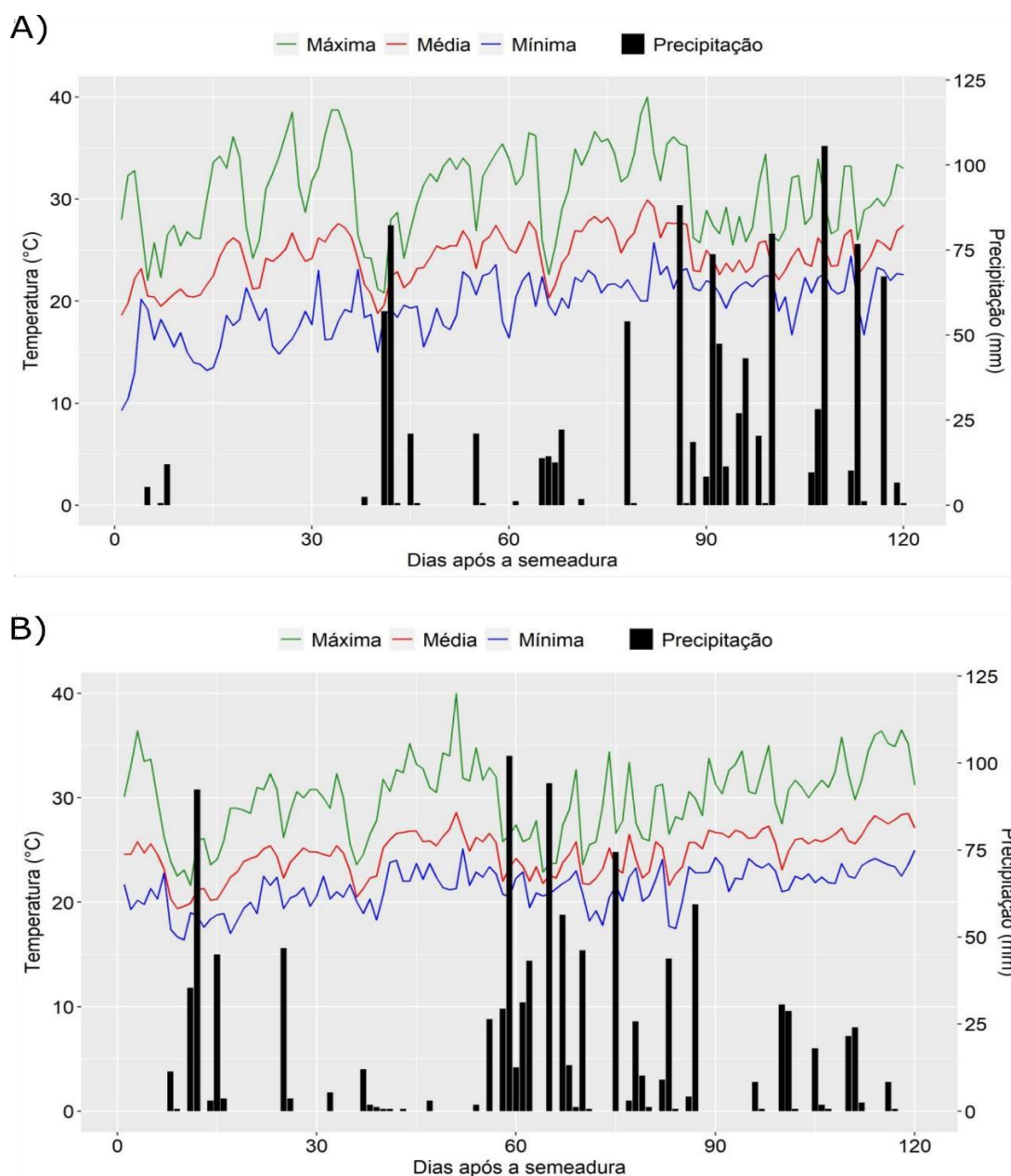


Figura 1. Precipitação (mm), temperatura máxima, média e mínima (°C) observadas durante o ano agrícola de 2019/2020 nas áreas experimentais de Itaocara (A) e Campos dos Goytacazes (B), Rio de Janeiro, Brasil. Fonte: INMET (2020).

Para a distinção dos ambientes em relação a disponibilidade de nitrogênio, foram realizadas análises químicas dos solos, a partir de amostras coletadas na camada de 0-20 cm, intercaladas em linhas e entrelinhas formando uma amostra composta a partir de 10 subamostras (Tabela 1). A adubação foi realizada com base nos resultados das análises químicas, exceto para a adubação nitrogenada.

Tabela 1. Atributos químicos do solo nas áreas experimentais em Itaocara e Campos dos Goytacazes, RJ, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm

Campos dos Goytacazes										
Camadas	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Na	C	MO
	H ₂	mg/dm ³				mmol _c /dm ⁻³		g dm ⁻³	
0 - 10	5,6	27	6,0	21,4	10,9	0,0	31,40	2,70	12,90	22,24
10 - 20	5,6	15	5,2	16,9	8,9	0,0	30,30	2,20	12,40	21,38
Itaocara										
Camadas	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Na	C	MO
	H ₂	mg/dm ³				mmol _c /dm ⁻³		g dm ⁻³	
0 - 10	5,9	27	3,3	17,6	8,0	0,0	38,10	1,10	13,40	23,10
10 - 20	5,8	20	2,4	15,8	8,6	0,0	28,50	0,80	12,40	21,38

Os ambientes contrastantes quanto à disponibilidade de N no solo foram caracterizados da seguinte forma: nos ambientes com aplicação de nitrogênio (CN) foram utilizados 180 kg ha⁻¹, sendo 30 kg.ha⁻¹ na adubação de semeadura e 150 kg.ha⁻¹ na adubação de cobertura, a qual foi parcelada nos estágios de quatro (V4) e seis folhas (V6) completamente expandidas, utilizando-se ureia comercial. Nos ambientes sem aplicação de nitrogênio (SN), foram aplicados 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura e não houve adubação de cobertura (Almeida et al., 2018). Os experimentos receberam irrigação suplementar para evitar estresse hídrico.

4.3 Delineamento experimental

Para cada um dos locais e condição de adubação (ambientes), foi utilizado o delineamento experimental de blocos completos com arranjo em *sets* com três repetições dentro de cada *set*. Os híbridos *testcrosses* foram distribuídos em cinco *sets*, sendo cada *set* composto por 12 híbridos e três testemunhas. As testemunhas foram comuns a todos os *sets* e foram inseridas com o intuito de capitalizar o efeito ambiental, para fins de correções do efeito de *set*.

Cada unidade experimental foi representada por uma linha de plantio de 3,0 m de comprimento, onde foram semeadas duas ou três sementes em covas espaçadas de 0,20 m, com espaçamento de 0,90 m entre linhas. Aos 21 dias após a germinação foi realizado o desbaste a fim de se manter 15 plantas por parcela.

4.4 Avaliação da podridão de espiga ocasionada por *Fusarium*

Foram colhidas todas as espigas de todas as plantas, e após a colheita, as espigas foram acondicionadas em sacos de pano e após sete dias foram avaliadas a incidência e a severidade da podridão de espiga. A incidência de espigas com *Fusarium* (FER- de *Fusarium* ear rot) foi avaliada em todas as espigas colhidas e foi obtida pela razão entre o número de espigas com sintomas pelo número de espigas avaliadas. A severidade de espigas com FER foi realizada visualmente em oito espigas aleatórias de cada unidade experimental, com auxílio da escala diagramática adaptada a escala proposta pelo Cimmyt (1994), com classes de 0 a 100 % e intervalos de 5 % (Figura 1), segundo Robertson-Hoyt et al. (2006) e Almeida et al. (2021). A avaliação foi conduzida por uma única pessoa.

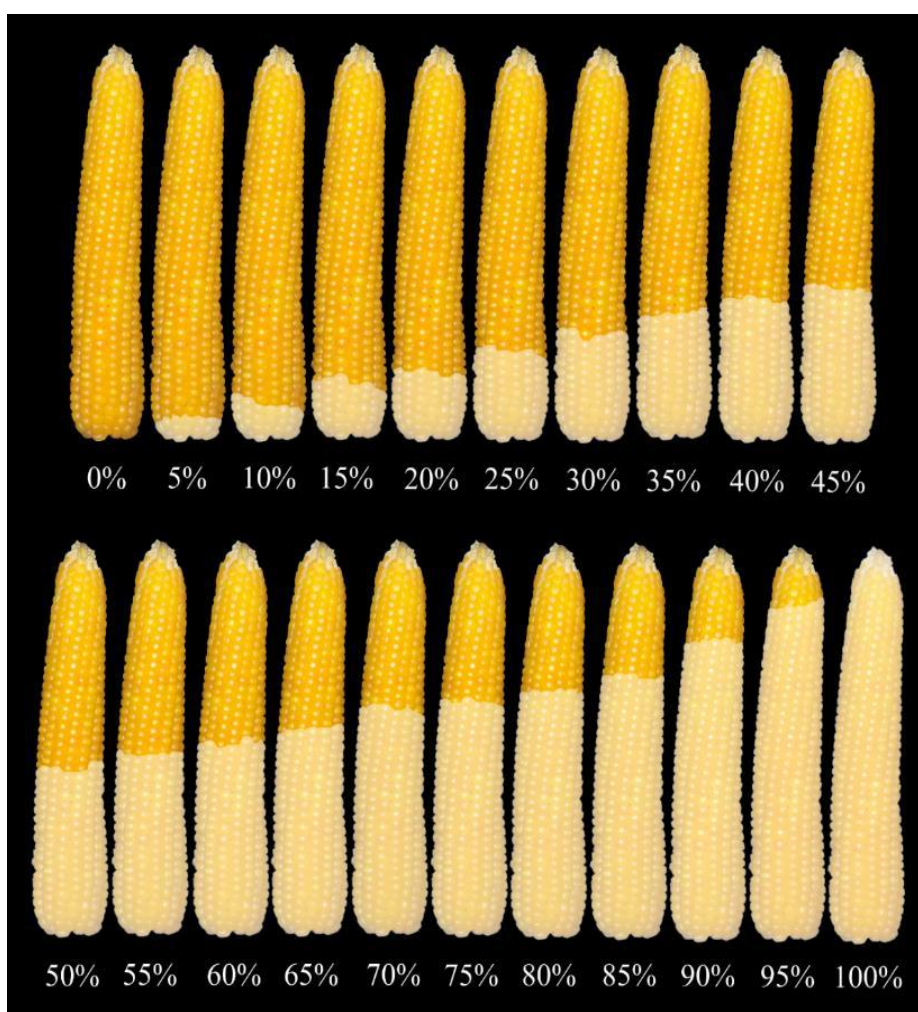


Figura 2. Escala diagramática adaptada utilizada na avaliação de podridão de espiga causada por *Fusarium verticillioides* em milho-pipoca (parte mais clara representa a porção com sintomas visíveis). (Almeida, 2022)

4.5 Análises genético-estatísticas

Inicialmente, foi realizada através das médias das testemunhas a correção do efeito de *set* na classificação do conjunto de híbridos *topcrosses* (Ribeiro et al., 2009; Guimarães et al., 2018). Posteriormente foram realizadas análises de variâncias individuais, utilizando o modelo estatístico de blocos ao acaso, com o intuito de testar a homogeneidade das variâncias residuais entre os ambientes.

Após a constatação de todos os pressupostos da análise de variância, efetuaram-se as análises do *topcross* para cada local (apenas os híbridos), considerando um dialelo parcial seguindo o método 4 de Griffing (1956) adaptado para múltiplos ambientes. As análises foram realizadas considerando o efeito de genótipo (*Topcrosses*) e ambientes (nível de N) como de efeito fixo, de acordo com o seguinte modelo genético-estatístico:

$$Y_{ijk} = m + n_k + g_i + g'_j + s_{ij} + gn_{ik} + gn_{jk} + sn_{ijk} + \bar{e}_{ijk},$$

em que: Y_{ijk} : valor médio observado da combinação híbrida entre i-ésima progênie S_7 e o j-ésimo testador no k-ésimo nível de N; m : média geral; n_k : efeito fixo do k-ésimo ambiente (nível de N) ($k = 1, 2$); g_i : efeito da capacidade geral de combinação da i-ésima progênie S_7 (grupo I); g'_j : efeito da capacidade geral de combinação do j-ésimo testador (grupo II); s_{ij} : efeito da capacidade específica de combinação entre a i-ésima progênie S_7 do grupo I e o j-ésimo testador grupo II; gn_{ik} : efeito da interação entre a capacidade geral de combinação da i-ésima progênie S_7 e o k-ésimo nível de N; $g'n_{jk}$: efeito da interação entre a capacidade geral de combinação do j-ésimo testador e o k-ésimo nível de N; sl_{ijk} : efeito da interação entre a capacidade específica de combinação entre a i-ésima progênie S_7 e o j-ésimo testador com o k-ésimo nível de N; e \bar{e}_{ijk} : erro experimental médio, obtido a partir da soma dos quadrados médios dos resíduos, ajustado para o número de observações.

A importância relativa dos efeitos da CGC (GGC linhagem + CGC testador) e CEC foram estimadas como proporção (percentagem) da soma de quadrados do efeito de *testcrosses* que é devido a CGC ou CEC para cada ambiente (Annor et al., 2019). Todas as análises genético-estatísticas foram realizadas com o auxílio dos programas computacionais R (R core Team, 2017) e GENES (Cruz, 2013).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se efeitos significativos ($p < 0,01$) de *Testcrosses* (TC), indicando a existência de variabilidade genética suficiente para , possibilitar a classificação de híbridos com maiores níveis de resistência a podridão de espiga (Tabela 2),e, conseqüentemente, obter avanços genéticos por meio da seleção dos genótipos superiores.

Tabela 2. Análise dialélica conjunta para incidência (IFER) e severidade (SFER) de *Fusarium* ssp. de *testcrosses* proveniente de 15 linhagens S₇ de milho-pipoca e quatro testadores avaliados com e sem aplicação de nitrogênio no solo em dois campos experimentais, sendo um em Campos dos Goytacazes e outro em Itaocara, RJ

FV	GL	Quadrados Médios			
		Campos dos Goytacazes		Itaocara	
		IFER	SFER	IFER	SFER
Testcrosses (T)	59	2405,91**	153,42**	1558,91**	844,29**
CGC-I	14	4932,90**	207,02**	1777,83**	533,42**
CGC-II	3	4946,26**	283,72**	2512,08**	2194,17**
CEC	42	1382,13**	126,28**	1417,86**	851,5**
Ambiente (A)	1	243,49 ^{ns}	0,98 ^{ns}	17247,82**	5670,59**
T x A	59	962,41**	136,61**	1980,04**	574,62**
CGC-I x A	14	1769,99**	165,39**	2643,32**	1002,47**
CGC-II x A	3	618,35*	83,99**	2326,14**	936,64**
CEC x A	42	717,80**	130,77**	1734,22**	406,15**
Resíduo	236	208,33	9,77	300,00	59,06

**,: significativo a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ns: não significativo

Foram observados quadrados médios referentes à capacidade geral de combinação das linhagens (CGC-I), capacidade geral de combinação dos testadores (CGC-II) e capacidade específica de combinação (CEC) significativos ($p < 0,01$) para as incidência (IFER) e severidade de podridão de espiga causada por *Fusarium* (SFER) em ambos os locais de avaliação (Tabela 2). A significância dos efeitos de CGC-I e CGC-II indicam que tanto as linhagens quanto os testadores diferem quanto à presença de alelos favoráveis para as variáveis analisadas, sendo a CGC representada pela concentração de genes de efeito aditivo. A significância da CEC sugere que os híbridos obtidos das combinações desses genitores, apresentaram desvios do que seria esperado em relação às CGC's dos genitores, e é associada aos efeitos da dominância ou não aditividade (Vencovsky, 1970). Observa-se ainda que para o local de Campos dos Goytacazes, os ambientes (A) não se diferiram estatisticamente entre si, diferentemente do local de Itaocara, em que a incidência e a severidade obtiveram resultados significantes a 1% de probabilidade pelo teste F.

Em relação aos efeitos significativos das interações de CGC x A indicam que houve linhagens e testadores que contribuíram com a alelos favoráveis para incidência e severidade de podridão da espiga de maneira diferente nas duas condições N e também ocorreu para cada um dos locais de avaliação. O mesmo acontece para os efeitos de CEC (Tabela 2). Diante disso, conclui-se que a diferença na quantidade de nitrogênio aplicada em cobertura afetou diretamente a contribuição genética das linhagens e testadores quanto a resistência à podridão de espigas em milho-pipoca, bem como os efeitos de complementação alélica manifestados pelos efeitos de capacidade específica de combinação. Resultados semelhantes foram encontrados por Kurosawa et al. (2020) e Kurosawa et al. (2021) que trabalharam com duas doses de N (uma com 140 kg ha^{-1} dividido em adubação de cobertura aos 30 e 40 dias após a semeadura; e outra com 42 kg ha^{-1} divididos em adubação de cobertura aos 34 e 40 dias após a semeadura) associado a resistência à helmintosporiose causada por *Bipolaris maydis*(Y. Nisik. and C. Miyake) Shoem e *Exserohilum turcicum* (Pass.) K. J. Leonard & E. G. Suggs respectivamente, observaram que as quantidades de N aplicado durante o experimento afetou a resposta das plantas às doenças em estudo.

Sabe-se que a disponibilidade de N em uma planta é capaz de influenciar a resistência e a suscetibilidade de uma planta em relação a estresses abióticos e

bióticos. No contexto de doenças em plantas, a disponibilidade de N pode limitar o crescimento de patógenos e afetar a forma com que as plantas se defendem (Yuming et al., 2020). Alguns estudos indicaram que a fertilização com N poderia diminuir a incidência de doenças de plantas com infecção por patógenos como *Alternaria* e *Fusarium* (Snoeiijers et al., 2000; Fagard et al., 2014). Em contrapartida, o excesso de nitrogênio pode favorecer a infecção e o desenvolvimento de doenças fúngicas, a depender da forma como o nitrogênio é aplicado, se na forma de ureia ou de nitrato de amônia (Caldwell et al., 2002; Tomazela et al., 2006; Gomes et al., 2007). Portanto, é de extrema importância manter um equilíbrio em relação a adubação para garantir uma maior capacidade de defesa.

Tendo em vista as interações significativas de CGC e CEC com as condições de N, torna-se necessário a seleção de genitores e combinações híbridas dentro de cada ambiente específico, pois são esperadas diferentes *performances* dos genótipos em função dos ambientes (condição de N).

Apesar da importância dos efeitos gênicos envolvidos no controle da resistência à podridão de espiga, de forma geral, observou-se efeitos de complementação gênica manifestados através da CEC responsáveis por contribuir com a maior porção (> 50%) da variação genética dos híbridos *topcrosses* para as características de resistência à *Fusarium*, independente da condição de N e do local de avaliação, exceto para IFER em Campos dos Goytacazes no baixo N, em que os efeitos de CGC foram predominantes (Figura 3). O fato de a CEC ter contribuído em maior proporção, indica ação não-aditiva dos genes modulando o controle genético da resistência à podridão de espiga, tanto sob condição ideal de N quanto em condição de escassez. Resultados semelhantes foram obtidos por Schwantes et al. (2017), em um arranjo dialélico completo conduzido em Campos dos Goytacazes, RJ, com adubação nitrogenada no total de 130 kg ha⁻¹ de ureia, onde gerou 56 combinações híbridas. Os autores acima citados constataram que os efeitos genéticos não aditivos prevaleceram na expressão de resistência à podridão da espiga, sob condições ideais de N.

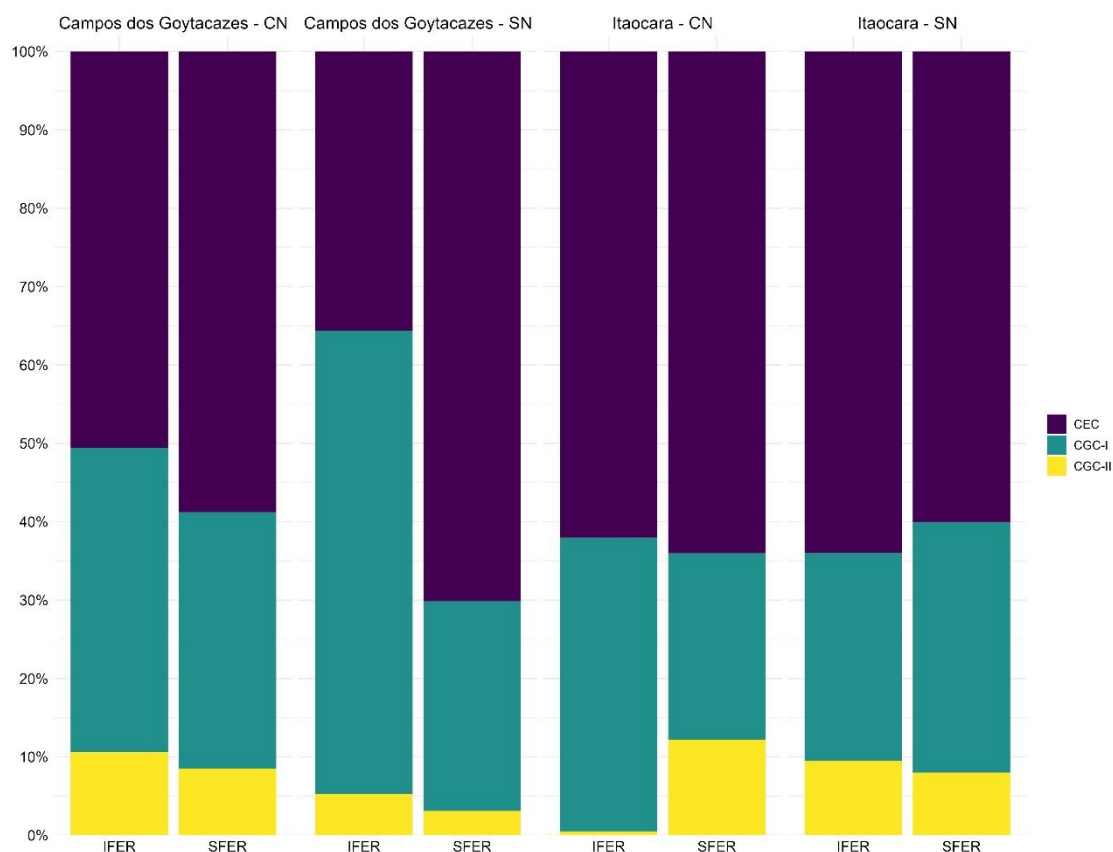


Figura 3. Contribuição relativa dos efeitos da capacidade geral de combinação das linhagens (CGC-I) e dos testadores (CGC-II), bem como da capacidade específica de combinação (CEC) para a variação dos híbridos *testcrosses* em Campos dos Goytacazes e Itaocara no RJ. Sob duas condições de disponibilidade de nitrogênio em cobertura, com nitrogênio (CN) e sem N (SN) em que foi avaliada a incidência (IFER) e a severidade (SFER) da podridão de espiga causado por *Fusarium*.

As estimativas da capacidade geral de combinação (CGC) fornecem informações a respeito do valor de contribuição genética que cada genitor possui em melhorar uma determinada característica de interesse. Analisando as estimativas de CGC das linhagens em Campos dos Goytacazes para IFER, observou-se que L689, L683, L688 e L695, destacaram-se por apresentarem estimativas de CGC negativas nos ambientes com e sem restrição de nitrogênio. Já para SFER, verificou-se que as linhagens L692, L694, L686, L683, L688, L685 foram as que mais contribuíram para redução da severidade da podridão de espiga nas duas condições de N (Figura 2).

No que diz respeito aos testadores, constatou-se que tanto para IFER quanto para SFER os genótipos L80 e L70 foram os melhores testadores em Campos dos Goytacazes, uma vez que, independentemente da condição de N, apresentaram

estimativas negativas de CGC. Vale ressaltar que Schwantes et al. (2017) avaliando a capacidade combinatória de um conjunto de linhagens através de dialelo completo, observaram que a L70 apresentou boa *performance* como genitora para redução da podridão de espiga, uma vez que exibiu valores de capacidade geral de combinação negativos para todas as características de resistência a essa doença. A linhagem L70 também teve bons resultados nos estudos de Almeida et al. 2021, gerando híbridos com elevados níveis de resistência em cruzamento *testcross* avaliados para seleção de híbridos para resistência à podridão da espiga. E ainda, Kurosawa (2019) estudou linhagens em diferentes níveis de adubação nitrogenada e resistência a helmintosporioses através das estimativas de capacidades combinatórias em milho-pipoca, e observou que a linhagem L80 esteve presente em muitos cruzamentos cujo híbridos apresentaram potencial para reduzir manchas de helmintosporiose em ambientes com restrição de nitrogênio no solo.

As linhagens que apresentaram valores negativos para IFER e SFER podem ser indicadas para serem utilizadas como testadores no desenvolvimento de híbridos e seleção de novas linhagens ou combinadas para formar populações sintéticas e para extração de novas linhagens em programas de melhoramento de plantas em que se deseja obter redução dos níveis de podridão de espiga causado por *Fusarium*.

As linhagens L690 e L681 e o testador P7 foram os genitores que exibiram efeitos positivos de CGC nas duas condições de N para ambas as características (Figura 4), e, portanto, não contribuíram para redução da doença nessas condições em Campos dos Goytacazes. Ainda para o local de Campos dos Goytacazes, avaliando apenas o ambiente com adubação de N, as linhagens que se destacaram foram a L686, L683, L688 e os testadores L70 e L80. Já para o ambiente sem N, as linhagens L 683, L688, L695, L685, L91 e os testadores L70 e L80 demonstraram superioridade entre as demais.

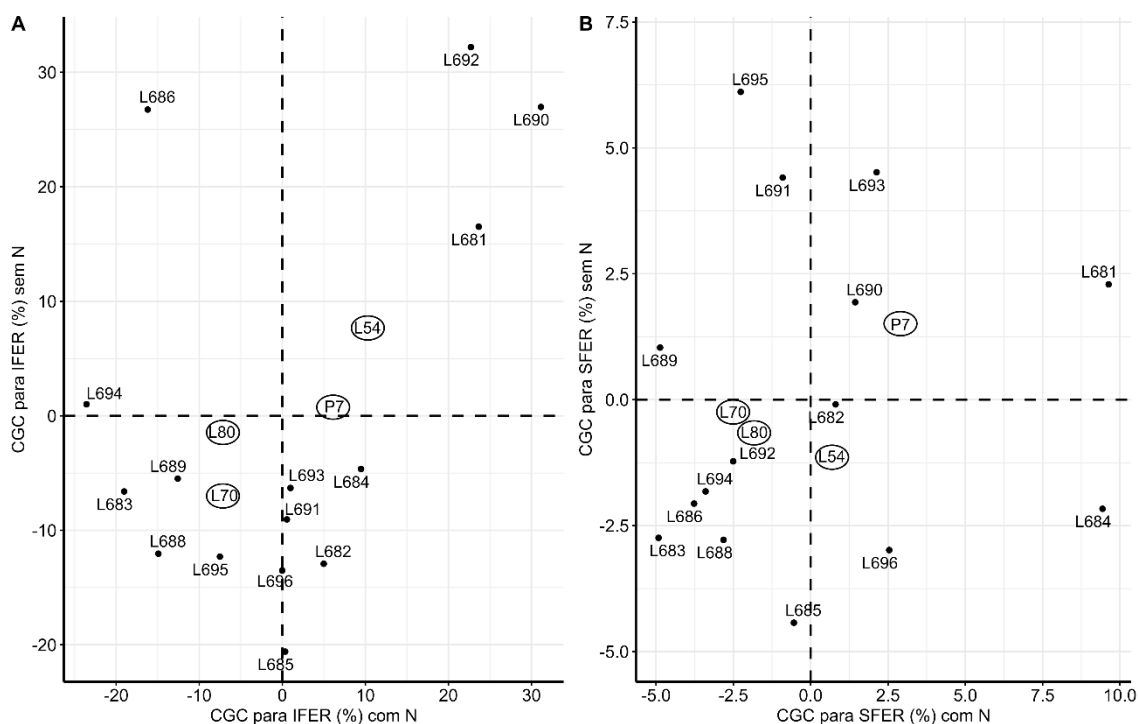


Figura 4. Efeito da capacidade geral de combinação das linhagens e dos testadores (circulados) para incidência (A) e severidade (B) de podridão de espigas causadas por *Fusarium* spp. em condições contrastantes de disponibilidade de nitrogênio avaliadas em Campos dos Goytacazes, RJ.

Analisando as estimativas de CGC das linhagens em Itaocara para IFER, observou-se que L696, L686, L685 e L682, destacaram-se por apresentarem estimativas de CGC negativas nos ambientes com e sem restrição de nitrogênio. Já para SFER, verificou-se que as linhagens L692, L693, L684 e L682 foram as que mais contribuíram para redução da severidade da podridão de espiga nas duas condições de N (Figura 5). Para os testadores, verificou-se que tanto para IFER quanto para SFER os genótipos P7 e L54 foram os melhores testadores em Itaocara uma vez que, independentemente da condição de N, apresentaram estimativas negativas de CGC (Figura 5). Ainda para o local de Itaocara, observando apenas o ambiente com N, as linhagens que se destacaram foram L681, L684, L693, L696, L682 e os testadores P7 e L54. Já para o ambiente sem N, as linhagens L695, L682 e os testadores P7 e L54 demonstraram superioridade entre as demais linhagens avaliadas nesse experimento.

Verificou-se para IFER que as linhagens L694, L692, L691 e L689 e L683 e L688 para SFER, apresentam efeitos de *gi* positivos nas duas condições de N em Itaocara, e, portanto, não são consideradas favoráveis para redução da podridão

espiga nesse local. Quanto aos testadores, observou-se que o L70 exibiu efeitos de CGC positivos para ambas as características em todos os ambientes (Figura 5).

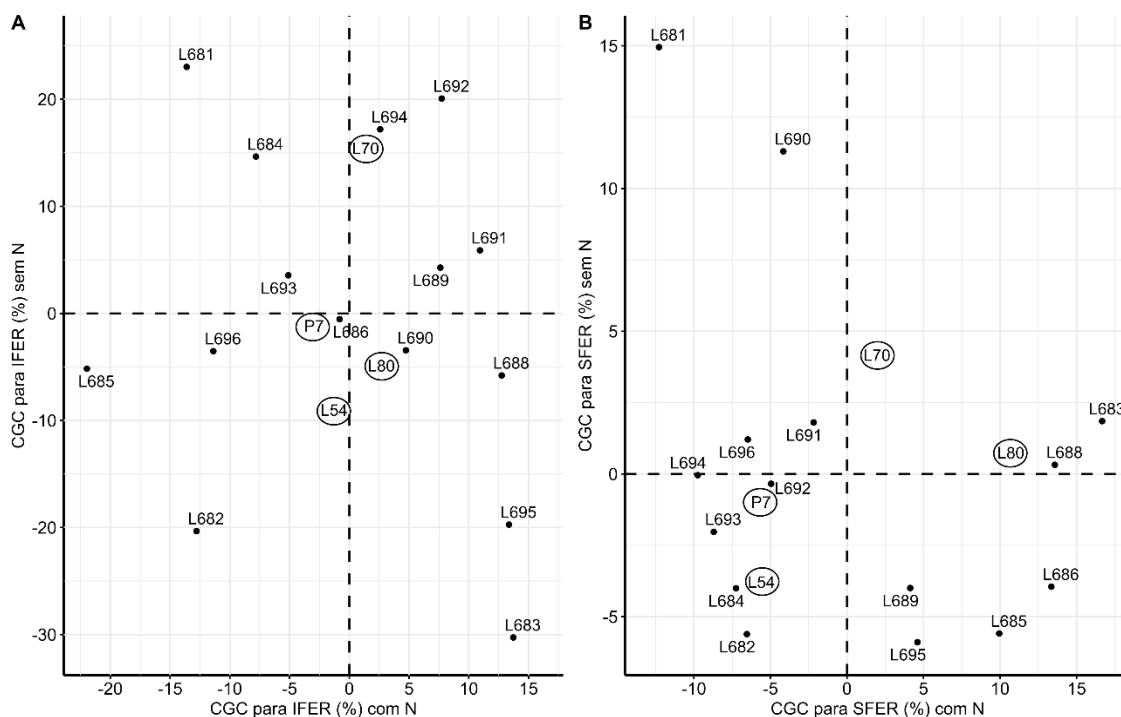


Figura 5. Capacidade geral de combinação de linhagens e testadores (circulados) para incidência (A) e severidade (B) de podridão de espigas causadas por *Fusarium* spp. em condições contrastantes de disponibilidade de nitrogênio avaliadas em Itaocara, RJ.

De maneira geral, observou-se que dentre as linhagens utilizadas como genitoras femininas, apenas a L692 se destacou para severidade nos dois locais e nas duas condições de nitrogênio. Já entre os testadores, foi possível observar que não houve nenhum testador superior para ambos os locais e condições de N simultaneamente, sendo que dos quatro testadores utilizados no estudo, dois se destacaram em Campos dos Goytacazes (L70 e L80), e os outros dois se destacaram em Itaocara (P7 e L54), demonstrando que a seleção dos genótipos é influenciada não só pela adubação de nitrogênio, mas também em função das condições ambientais, representada aqui pelos diferentes locais. Além disso, foi observado que avaliando apenas o ambiente com adubação de N nenhuma linhagem se destacou por apresentar valores negativos de incidência e severidade de podridão de espiga nos dois locais (Campos dos Goytacazes e Itaocara). Já para o ambiente sem adubação em cobertura com N, as linhagens L685 e L695 se

destacaram para a característica de incidência e severidade de podridão de espiga nos dois locais avaliados.

Para as estimativas de capacidade específica de combinação (CEC) dos híbridos, nas características de incidência no local de Campos dos Goytacazes (Figura 4a) para o ambiente com e sem N, obtiveram 18 combinações híbridas que se destacaram por possuírem estimativas negativas de CEC para ambos os ambientes, que são elas: L682 X L80, L689 X L80, L683 X L80, L693 X L80, L692 X L80, L691 X P7, L684 X P7, L688 X P7, L686 X P7, L695 X P7, L693 X P7, L682 X L54, L692 X L54, L690 X L54, L681 X L70, L689 X L70, L690 X L70, L686 X L70. Dentre elas, cinco combinações com o testador L80, seis com o testador P7, três com o L54 e quatro com L70.

Já para as estimativas de CEC, para a SFER nos ambientes com e sem N, para Campos dos Goytacazes (figura 6) obtiveram 20 combinações com CEC negativa, sendo elas: L682 X L80, L691 X L80, L689 X L80, L683 X L80, L690 X L80, L695 X P7, L692 X P7, L688 X P7, L685 X P7, L696 X P7, L681 X P7, L695 X L54, L693 X L54, L688 X L54, L692 X L54, L689 X L54, L684 X L70, L694 X L70, L686 X L70, L683 X L70. Dentre elas, cinco combinações foram com o testador L80, seis com o testador P7, cinco com o L54 e quatro com o testador L70.

Foi possível observar que houve combinações que se destacaram para as duas características estudadas, obtendo CECs negativas tanto para a incidência quanto para a severidade em ambos os ambientes para o local de Campos dos Goytacazes, sendo elas: L682 x L80, L689 X L80, L688 X P7 e L692 X L54 capazes de reduzir a doença em condições contrastantes de disponibilidade de N.

As principais características desejáveis para a cultura do milho-pipoca é a capacidade de expansão (CE) e rendimento de grãos (RG), devendo apresentar CE acima de 30 mL.g⁻¹ (Pereira Filho et al., 2021). E para RG, o valor deverá ser em média de 2.500,00 kg.ha⁻¹ a 3.000,00 kg.ha⁻¹. De Souza (2021), obteve resultados acerca dessas características para as combinações híbridas deste estudo nos locais de Campos dos Goytacazes e Itaocara, para os ambientes em alto e baixo N (tabela 3). Dentre as quatro combinações selecionadas para Campos dos Goytacazes em ambientes com quantidades ideais e restritas de N, para resistência à podridão de espiga, apenas a combinação L688 X P7 obteve o valor médio desejável pra CE, e as combinações L689 X L80 e L688 e P7 demonstraram

valores desejáveis para RG. Sendo a combinação L688 X P7 superior para RG e CE e também uma fonte de resistência para o local de Campos dos Goytacazes.

Tabela 3. Médias de capacidade de expansão (CE) e rendimento de grãos (RG) das combinações híbridas em ambientes com alto e baixo N em cobertura para os locais de Campos de Goytacazes e Itaocara- RJ (De Souza, 2021)

Campos dos Goytacazes		
	CE (mL/g⁻¹)	RG (kg.ha⁻¹)
L682 x L80	24,03	2.452,62
L689 X L80	29,77	2686,00
L688 X P7	34,91	2682,78
L692 X L54	28,04	2145,61
Itaocara		
	CE (mL.g⁻¹)	RG (kg.ha⁻¹)
L682 x L80	24,03	2.452,62
L692 X L80	24,34	2.534,60
L685 X P7	30,65	2.476,60
L683 X P7	31,87	2.248,33
L683 X L54	27,87	2.395,94
L684 X L70	23,50	3.245,83
L690 X L70	31,04	2.547,72
L686 X L70	23,03	2.999,10

Para as estimativas de capacidade específica de combinação dos híbridos, nas características de incidência no local de Itaocara (Figura 7) para o ambiente com e sem N, foram obtidas 22 combinações com estimativas negativas de CEC para ambos os ambientes, e por tanto, se destacaram, sendo as combinações: L683 X L80, L682 X L80, L684 X L80, L694 X L80, L682 X L80, L693 X L80, L686 X L80, L683 X P7, L685 X P7, L689 X P7, L688 X L54, L683 X L54, L695 X L54, L690 X L70, L694 X L70, L686 X L70, L681 X L70, L684 X L70, L685 X L70, L695 X L70, L689 X L70, L691 X L70. Dentre elas, sete combinações foram obtidas com o testador L80, três com o testador P7, três com L54 e nove com L70.

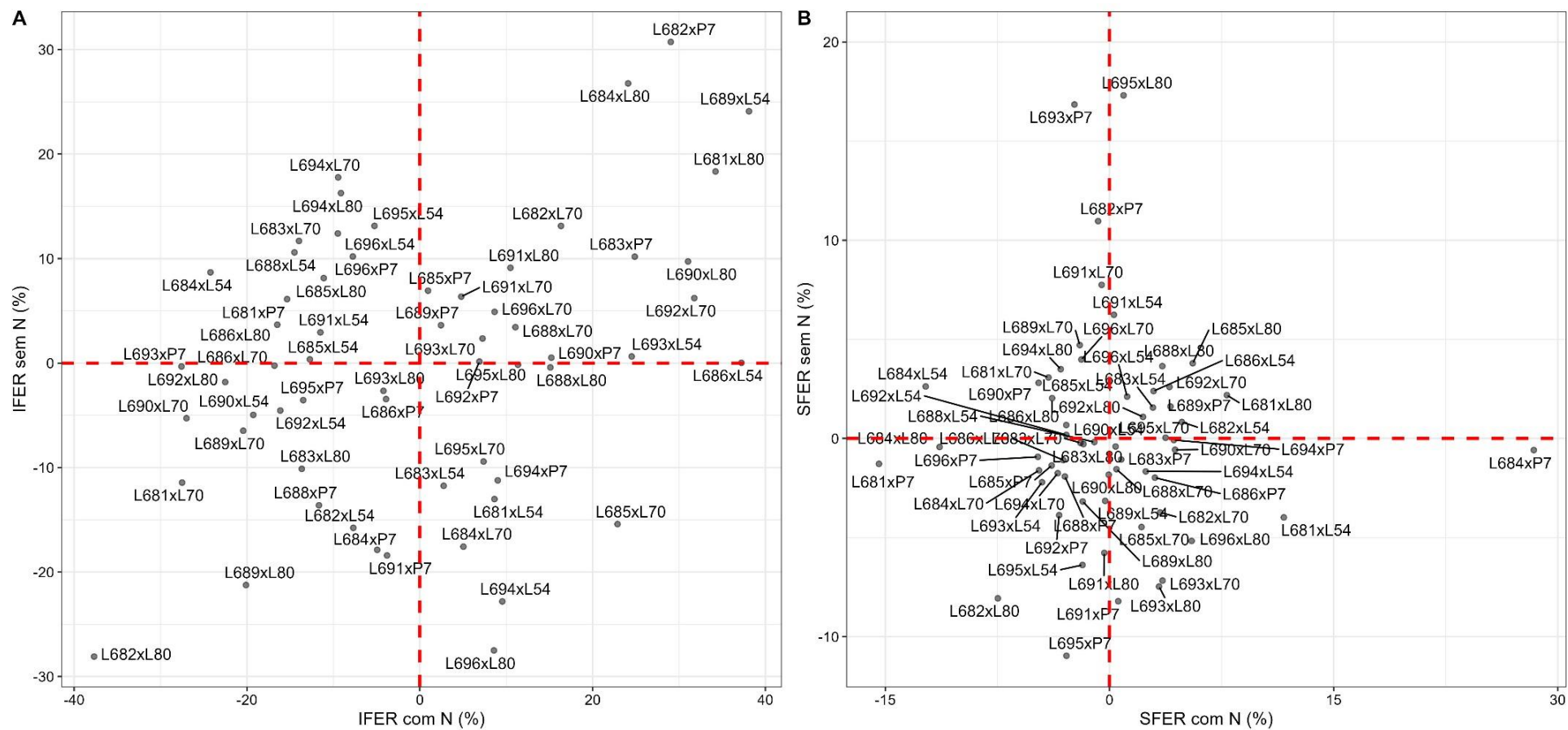


Figura 6. Capacidade específica de combinação dos híbridos de milho-pipoca para incidência de podridão de espigas causadas por *Fusarium* spp. em condições contrastantes de disponibilidade de nitrogênio avaliadas em Campos dos Goytacazes. A – Incidência de *Fusarium* (IFER), B – Severidade de *Fusarium* (SFER).

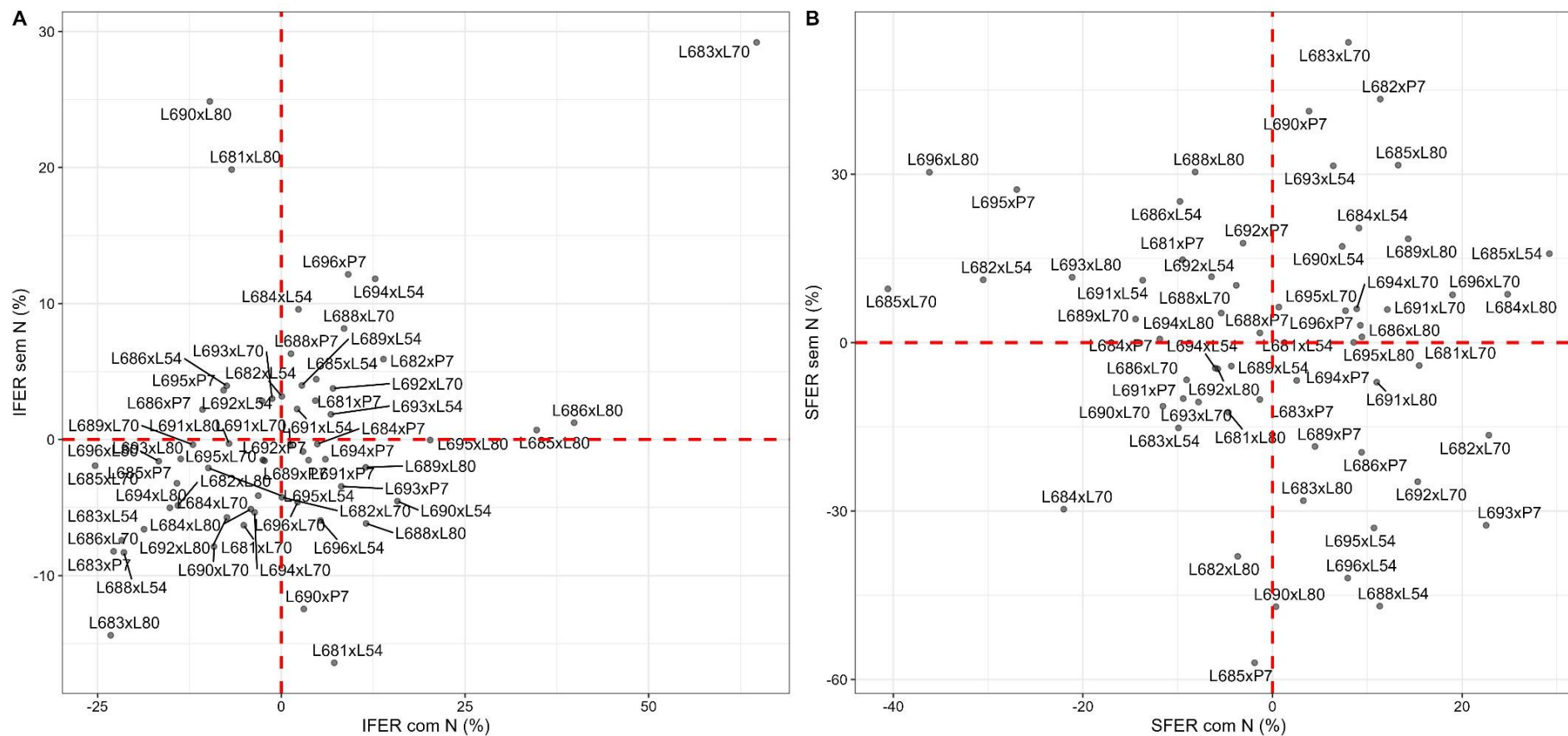


Figura 7. Estimativas de capacidade específica de combinação dos híbridos de milho-pipoca para severidade de podridão de espigas causadas por *Fusarium* spp. em condições contrastantes de disponibilidade de nitrogênio avaliadas em Itaocara. A – Incidência de *Fusarium* (IFER), B – Severidade de *Fusarium* (SFER).

Para severidade de podridão de espiga, para o mesmo local, em ambos os ambientes, foram obtidas 13 combinações híbridas favoráveis, as quais obtiveram valores negativos de CEC, sendo elas: L682 X L80, L681 X L80, L692 X L80, L685 X P7, L691 X P7, L683 X P7, L683 X L54, L684 X L54, L689 X L54, L684 X L70, L690 X L70, L693 X L70, L686 X L70. Dentre essas, três foram obtidas com o testador L80, três com P7, três com L54 e quatro com o testador L70.

Observando as características de incidência e severidade para o local de Itaocara, nas duas condições de N, é possível destacar oito combinações que se destacaram para as duas características, como no caso das combinações L692 X L80, L682 X L80, L683 X P7, L685 X P7, L683 X L54, L690 X L70, L686 X L70 e L684 X L70, sendo portanto boas combinações híbridas para redução da podridão de espiga no local de Itaocara.

De forma geral, analisando os dois locais, as duas características avaliadas e as duas condições de N disponível, apenas a combinação L682 X L80 foi capaz de reduzir a doença causada por *Fusarium*. Tal fato demonstra que houve interação de local, onde em cada local, as combinações responderam de forma diferente, visto que a maioria das combinações tidas como melhores para o local de Campos dos Goytacazes não foram as melhores combinações para o local de Itaocara.

Para as características de interesse agrônomo de acordo com De Souza (2021) para RG e CE, dentre as oito combinações híbridas selecionadas como superiores para Itaocara (tabela 3), as combinações híbridas que obtiveram o valor médio desejável para a característica de RG foram: L692 X L80, L684 X L70, L690 X L70 e L686 X L70. Já para a característica de CE, as combinações superiores foram L685 X P7, L683 X P7 e L690 X L70. Entre elas, a combinação L690 X L70 demonstrou bons valores para as duas características agrônomicas desejáveis, além do seu potencial de resistência à podridão de espiga para o local de Itaocara.

De acordo com Galvão et al. (2000) uma boa variedade de milho-pipoca deve ter capacidade de expansão acima de 21 mL.g^{-1} e que valores acima de 30 mL.g^{-1} indicam excelente pipoca. E a combinação híbrida L682 X L80, que foi selecionada como potencial fonte de resistência à podridão de espiga nas duas condições de N nos locais de Campos dos Goytacazes e Itaocara obteve um valor de $24,03 \text{ mL.g}^{-1}$ para CE e $2.452,62 \text{ kg.ha}^{-1}$ para RG. Embora as melhores pipocas do mercado apresentem CE acima de 26 mL.g^{-1} e RG acima de 2.500 kg.ha^{-1} , muitas delas não possuem níveis elevados de resistência a doenças. Portanto, é

válido buscar materiais que reúnam as características de interesse agrônomo, mais que também tenham potencial para resistência a doenças.

L80 foi o testador que participou do maior número de combinações híbridas que apresentaram CECs negativas para as características severidade e incidência de podridão de espigas nos dois ambientes, e portanto, pode ser utilizada em cruzamentos onde se deseja obter resistência à podridão de espiga. Embora, a CEC seja importante, o fato de a combinação híbrida apresentar ao menos um genitor com CGC desejável é interessante para a síntese de híbridos de milho-pipoca resistentes à podridão de espiga causada por *Fusarium* (Paini et al., 1996; Cruz e Regazzi, 1997).

Assim, para fins de seleção em relação à incidência e severidade de podridão de espiga causado por *Fusarium* spp., nas localidades de Campos dos Goytacazes e Itaocara e em condições restritas e ideais da adubação com nitrogênio em cobertura, a combinação L682 X L80 se mostrou superior, com potencial de resistência à doença em diferentes condições de N, e portanto, pode ser utilizada em cultivos em que se deseja resistência à doença e que sejam mais sustentáveis no gerenciamento de nitrogênio, devido a sua boa *performace* nas ambas as disponibilidades de N e em diferentes localidades. O fato da combinação híbrida não ter apresentado melhores resultados para as características agrônômicas (CE e RG), não descarta a sua importância no programa de melhoramento pelo fato de ser uma potencial fonte de resistência à podridão de espiga em ambientes contrastantes em N no solo. Além disso, foi possível identificar as linhagens utilizadas como parentais que podem ser utilizadas para reduzir a doença em futuros cruzamentos, sendo uma boa ferramenta para dar continuidade ao programa de melhoramento.

6. CONCLUSÕES

1. Os efeitos gênicos não-aditivos foram predominantes no controle da resistência à podridão de espiga causada por *Fusarium* spp. para ambas as condições de N nessas condições e para essas combinações de genótipos.
2. O efeito da interação genótipo x local (região geográfica) afeta a capacidade combinatória das linhagens.
3. As linhagens L683, L688 e os testadores L80 e L70 apresentaram boa CGC para Campos dos Goytacazes. A linhagem L682 e os testadores P7 e L54 apresentaram boa CGC para Itaocara.
4. Os híbridos provenientes dos cruzamentos L682 x L80 se destacaram para Campos dos Goytacazes e Itaocara, para as características de incidência e severidade em ambas as condições de disponibilidade de N.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abranches, J. L., Ferreira, R. L., Perdoná, M. J. (2016) Mitigação da contaminação ambiental pelo uso de ureia revestida por polímeros na agricultura. ANAP, *Anais do Fórum Ambiental da Alta Paulista*. v. 7, p. 1139–1156.
- Abubakar, A. W., Manga, A. A., Kamara, A. Y., Tofa, A. I. (2019) Physiological Evaluations of Maize Hybrids under Low Nitrogen. *Advances in Agriculture* 2019(1):1-6. DOI:10.1155/2019/2624707.
- Alexopoulos, C.J., Mims, C.W., Blackwell, M. (1996) *Introductory Mycology*. Fourth edition. John Wiley e Sons. 869p.
- Almeida, R.N., Vivas, M.V., Santos Junior, D.R., Saluci, J.C.G., Carlos, M.C., Santos, J.S., Amaral Júnior, A.T., Scapim, C.A. (2021) Combining abilities analysis for ear rot resistance in popcorn hybrids development. *Revista Ceres*, 68(1): 61-70. DOI: 10.1590/0034737X2021-68010008.
- Almeida, R.N.de (2022) Pré-seleção de linhagens de milho-pipoca para resistência à podridão de espigas ocasionada por *Fusarium* sp. *Tese* (doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 120p.

- Almeida, R.N.de, Vivas, M., Ribeiro, N. M. O., Saluci, J. C. G., Valadares, F.V., Vasconcelos, L. C., Amaral Júnior, A. T. do. (2023) *Fusarium* ear rot resistance in South American popcorn lines. *Tropical Plant Pathology*. DOI: 10.1007/s40858-023-00607-3.
- Amaral Júnior, A.T., Freitas Júnior, S.P., Rangel, R.M., Pena, G.F., Ribeiro, R.M., Morais, R.C., Schuelter, A.R. (2010) Improvement of a popcorn population using selection indexes from a fourth cycle of recurrent selection program carried out in two different environments. *Genet Mol Res*, Mar 2;9(1):340-7. DOI: 10.4238/vol9-1gmr702.
- Amaral Júnior, A.T., Ribeiro, R.M., Santos, P.H., Poltronieri, T.P., Vivas, J.M., Gerhardt, I.F., Carvalho, B.M., Freitas, C.S., Miranda, S.B. (2016). Genetic variability affecting *Exserohilum turcicum* resistance in popcorn lines grown under high and low phosphorus conditions. *Genetics and molecular research: GMR*, v.4, n.15.
- Amaral Junior, A.T.D., Freitas, I.L.D.J., Guimarães, A.G., Maldonado, C., Arriagada, O., Mora, F. (2016) Bayesian analysis of quantitative traits in popcorn (*Zea mays L.*) through four cycles of recurrent selection. *Plant Production Science*, 19(4):574-578. DOI:10.1080/1343943X.2016.1222870.
- Amaral Júnior, A.T.D., Gonçalves, L.S.A., Freitas Júnior, S.D.P., Candido, L.S., Vittorazzi, C., Pena, G.F., Ribeiro, R.M., Silva, T.R.C., Pereira, M.G., Scapim, C.A., Viana, A.P., Carvalho, G. F. D. (2013) UENF 14: a new popcorn cultivar. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 13:218-220.
- ANDA -Associação nacional para difusão de adubos (2022). Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes. São Paulo. Disponível em: <http://anda.org.br>. Acesso em 10 Dezembro. 2023.
- Artuzo, F. D., Foguesatto, C.R., Souza, A.R.L., De Silva, L.X. (2018) Gestão de custos na produção de milho e soja. *Revista Brasileira de Gestão de Negócios*, v.20, n.2, p.273-294. DOI: 10.7819/rbgn.v20i2.3192.

- Balconi, C., Berardo, N., Locatelli, S., Lanzanova, C., Torri, A., Redaelli, R. (2014) Evaluation of ear rot (*Fusarium verticillioides*) resistance and fumonisin accumulation in Italian maize in bred lines. *Phytopathol. Mediterr.* v.53, p.14–26.
- Balko, L.G., Russell, W.A. (1980) Response of maize inbred lines to N fertilizer. *Agronomy Journal*, Madison, v.72, n.5, p.723-732.
- Barghini A. (2004) O milho na américa do sul pré-colombiana: uma história natural, São Leopoldo: *Unisinós*, 170p.
- Beadle, GW. (1978) Teosinte and the origin of maize. In: Walden, D.B. (d.) *Maize breeding and genetics*. New York, Jhon Wiley e Sons, p. 113-141.
- Bellincampi, D., Cervone, F. e Lionetti, V. (2014). Plant cell wall dynamics and wall-related susceptibility in plant–pathogen interactions. *Frontiers in plant science*, v.5, n.228.
- Bespalhok, F.J.C.; Guerra, E.P.; Oliveira, R. (2007) Introdução ao Melhoramento de Plantas. In: Bespalkok F., J.C.; Guerra, E.P.; Oliveira, R. *Melhoramento de Plantas*. Disponível em www.bespa.agrarias.ufpr.br, p.1-9.
- Bisen, P., Dadheech, A., Namrata, Nagar, O. and Meena, R.K. (2017) Exploitation of heterosis in single cross hybrids of quality protein Maize (*Zea mays* L.) for yield and quality traits. *International Journal of Bioresource and Stress Management*, 8(1):012-019.
- Bolaños, J. e Edmeades, G.O. (1996) The importance of the anthesis – silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. *Field Crops Research*, 48:65–80.
- Bordini, J. G.; Rossi, C. N.; Hirooka, E. Y.; Ono, E. Y. S. (2013) Impacto das fumonisinás, aflatoxinas e ocratoxina A na avicultura. *Biochemistry and Biotechnology Reports*, v.2, n.1, p. 68-88.

- Borém, A., Miranda, G.V. (2013) *Melhoramento de plantas*. 4. ed. Viçosa: UFV, 523p.
- Brito, A.H., Pereira, J.L.A.R., Pinho, R.G.V., Balestre, M. (2012) Controle químico de doenças foliares e grãos ardidos em milho (*Zea mays* L.). *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v,11, p.49-59.
- Broders, K.D., Lipps, P.E., Paul, P.A., Dorrance, A.E. (2007) Evaluation of *Fusarium graminearum* associated with corn and soybean seed and seedling disease in Ohio. *Plant Disease*, Saint Paul, v. 91, n. 3, p. 1155-1160.
- Brugnera, A., Von Pinho, R.G., Pacheco, C.A.P., Alvarez, C.G.D. (2003) Resposta de cultivares de milho-pipoca a doses de adubação de semeadura. *Revista Ceres*, 50 (290):417-429.
- Büll, L.T. (1993) Nutrição mineral do milho. In: Büll, L.T. & Cantarella, H., eds, *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba, *Potafos*, p. 63- 145.
- Bush, B.J., Carson, M.L., Cubeta, M.A., Hagler, W.M., Payne, G.A. (2004) Infection and fumonisin production by *Fusarium verticillioides* in developing maize kernels. *Phytopathology*, v.94, p.88–93.
- Cabral, P.D.S., Amaral Júnior, A.T., Pio Viana, A., Duarte Vieira, H., Jesus Freitas, I.L., Vittorazzi, C., Vivas, M. (2015) Combining ability between tropical and temperate popcorn lines for seed quality and agronomic traits. *Australian Journal of Crop Science*, 9(4): 256-263.
- Caldwell, P. M., Ward, J. M. J., Miles, N., Laing, M.D. (2002) Assessment of the effects of fertilizer applications on gray leaf spot and yield in maize. *Plant Disease*, v. 86, n. 8, p. 859-866.
- Camañes, G., Victoria, P., Cerezo, M., García-Agustín, P., Flors, V. (2012) A deletion in the nitrate high affinity transporter NRT2. 1 alters metabolomic

and transcriptomic responses to *Pseudomonas syringae*. *Plant signaling & behavior*.v.7, n.6, p.619-622.

Carpentieri-Pípolo, V., Takahashi, H.W., Endo, R.M., Petek, M.R., Seifert, A. (2002) Correlações entre caracteres quantitativos em milho-pipoca. *Horticultura Brasileira*, 20(4):551-554.

Carvalho, C., Kist, B. B., Santos, C. E., Muller, I., Beling, R. R. (2015) Anuário brasileiro de milho. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz LTDA., 112 p.

Casela, C.R., Ferreira, A.S., Pinto, N.F.J. (2006) Doenças na cultura do milho. Circular Técnica 83, Sete Lagoas - MG: *Embrapa Milho e Sorgo*, p.14.

Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo - CIMMYT (1994) Managing trials and reporting data for CIMMYT's international maize testing program. Mexico, Cimmyt, handle/10883/697?show=full. 23p. <https://repository.cimmyt.org/>.

CNA – (2022) Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. Taxa de câmbio e fertilizantes: efeitos na composição dos custos de produção de cana-de-açúcar. Brasília. Disponível em:<https://cnabrasil.org.br/publicacoes/dependencia-do-mercado-externo-de-fertilizantes-expoe-produtores-de-cana-de-acucar-brasileiros-as-oscilacoes-de-precos-e-cambio>. Acesso em: 18 ago. 2023.

Cobucci, T. (1991) Efeitos de doses e épocas de aplicação em cobertura do adubo nitrogenado no consórcio milho-feijão. Viçosa: UFV, 94p. *Tese* (Doutorado em Fitotecnia).

Coelho, A.M., Cruz, J.C., Pereira Filho, I.A. (2003) Produtividade do milho no Brasil: Chegamos ao máximo? *Informações Agrônomicas Potafos*, Piracicaba, n.101, p.1-12.

Colombo, M. (2017) Produtividade do milho safrinha em função de fontes de nitrogênio e estádios de aplicação. - *Monografia* (graduação em Agronomia) Universidade Federal do Paraná. Palatina.

CONAB. (2018) Custos de Produção. Informativo Técnico. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao>. Acesso em: 12 ago. 2023.

Cornélio, V.M.O., Reis, M. De S., Soares, A.A., Soares, P.C., Oliveira, J.A. (2007) Efeito de doses e épocas de aplicação de nitrogênio na incidência de doenças, produção e qualidade sanitária das sementes de arroz. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 31, n.1, p.47-52, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000100007>.

Costa R. V., Cota, L. V., Rocha, L. M. P da, Nolasco, A. A. R., Silva, D. D., Parreira, D. F., Ferreira, P. (2010) Recomendação de Cultivares de Milho para a resistência a grãos ardidos. Circular Técnica 154, *Embrapa Milho e Sorgo* (CNPMS), Sete Lagoas, p.8.

COTAPEL. Cooperativa Agrícola Tapejara Ltda. Cotações Milho-Pipoca: 29/05/2020 Tapejara, RS. 2020. Disponível em: < http://www.cotapel.com.br/cotacao.php?pCot_id=5>. Acesso em: 29 de Novembro de 2023.

Cruz, C. D. E Regazzi, A. J. (1997) Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2. ed. Viçosa: UFV, 390 p.

Cruz, C.D. (2013) GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*, 35: 271-276.

Cruz, C.D., Regazzi, A.J., Carneiro, P.C.S. (2012) Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 4.ed. Viçosa: UFV, v.1, 514p.

- Cullen MG, Thompson LJ, Carolan JC, Stout JC, Stanley DA (2019) Fungicides, herbicides and bees: A systematic review of existing research and methods. *Plos one*,14(12). DOI: 10.1371/journal.pone.0225743
- D'Andrea, K.E., Parco, M., Maddonni, G.A. (2022) Maize prolificacy under contrasting plant densities and N supplies: II. Growth per plant, biomass partitioning to apical and sub-apical ears during the critical period and kernel setting. *Field Crops Research* V. 284, 1 August. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108557>.
- Da Cruz, R.M.S., Jesus, R.A., Souza, M.P.F., Cagnini, C., Sabec, G.Z., Savoldi, T.L., Souza, S.G.H. (2019) – Crescimento inicial e resposta estomática de milho-pipoca sob estresse salino. *Colloquium Agrariae*, vol. 15, n. 1, p. 15-26. DOI:10.5747/ca.2019.v15.n1.a266.
- Dalla-Costa, D.A., Colognese, I.C., Pereira, S.R., Rodrigues, A.P.D.C. (2018) Qualidade fisiológica de sementes crioulas de milho-pipoca. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v.13, n.5, p.256.
- Davide, J.G. (1967) The effect of fertilizer and population density on the grow and yield of corn in the Philippines. *Philippine Agriculturist*, Laguna, v.14, n.10, p.573-580.
- Davis, R. L. (1927) Report of the plant breeder, Annual Report Agricultural Experiment Station University of Porto Rico, Rio Piedras, p.14-15.
- De Souza, Y.P. (2021) *Screening* de linhagens s7 e híbridos de milho-pipoca para ambientação ao déficit de nitrogênio no solo. Tese (doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.
- Dietrich, R., Plosso, K., Heil, M. (2004) Constitutive and induced resistance to pathogens in *Arabidopsis thaliana* depend on nitrogen supply. *Plant, cell and environment*, London, v.27, p. 896-906.DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2004.01195>.

- Diniz, S.S. de S. (2002) *Micotoxinas*. Maringá: Livraria e Editora Rural, 181p.
- Dordas, C. (2008) Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, Dijon, v.28, n.1, p. 33-46.
- Duarte, R.P., Juliatti, F.C., Freitas, P.T.de. (2009) Eficácia de diferentes fungicidas na cultura do milho. *Biosci. J.*, Uberlândia, v. 25, n. 4, p. 101-111, July/Aug.
- Dudienas, C., Fantin, G.M.; Aildson, P., Duarte, A.P., Ticelli, M., Bárbaro, I.M., Freitas, R.S., Leão, P.C.L., Cazentini Filho, G., Bolonhezi, D., Pântano, A.P. (2013). Severidade de ferrugem polissora em cultivares de milho e seu efeito na produtividade. *Summa Phytopathologica*, 39(1):16-23.
- Duete, R. R. C., Muraoka, T.; Silva, E. C.; Trivelin, P. C. O., Ambrosano, E. J. (2008) Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (15N) pelo milho em Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.161-171.
- Dungait, J.A., Blackwell, M. S.A., Wu, L.,Withers, P.J.A., Chadwick, D. R.,Bol, R., Murray, P. J., Macdonald, A. J., Whitmore, A. J., Goulding, K. W.T.(2012) Advances in the understanding of nutrient dynamics and management in UK agriculture. *Science of the Total Environment*, v.434, p.39-50, 2012. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.04.029.
- Ecodebate (2020) Uso intensivo de fertilizantes nitrogenados ameaça o clima. 2020. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2020/10/10/>>. Acesso em 15 de dezembro de 2023.
- Fagard, M., Launay, A., Clement, G., Courtial, J., Dellagi, A., Farjad, M., Masclaux-Daubresse, C. (2014) Nitrogen metabolism meets phytopathology. *Journal of Experimental Botany*, 65(19), 5643–5656.

- Faquin, V. (2005) Nutrição mineral de plantas. Curso de Pós-Graduação 'Lato Sensu' à distância: Solos e Meio Ambiente, Universidade Federal de Lavras.
- Farias, P. I. V., Freire, E., Cunha, A. L. C., Polidoro, J. C., Antunes, A. M. S. (2021) Input assurance for Brazilian food production. *Fertilizer Focus*, v. 38, n. 1, p. 52-54, Jan./Feb.
- Fernandes, M.C.S., Palhares, D.D.F., Vieira, L.G.N., Malagoni, R.M. (2022) Avaliação do consumo, produção, mercado mundial e impactos ambientais na indústria de fertilizantes nitrogenados. *Congresso Brasileiro de sistemas particulados*, ENEMP. Uberlândia, MG.
- Ferreira, A.C.B, Araújo, G.A.A, Pereira, P.R.G, Cardoso A.A. (2001) Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. *Scientia Agrícola, Piracicaba*, v.50, n.1, p.131-138.
- Figueira, E., Coelho, A., Ono, E., and Hirooka, E. (2003). Milho: Riscos associados à contaminação por *Fusarium verticillioides* e fumonisinas. *Ciências Agrárias*, v.24, n.2.
- Filho, I.A.P, Cruz, J.C., Pacheco, C.A.P., Costa, R.V. (2020) Milho-pipoca. *Agência Embrapa de Informação Tecnológica*. Milho-pipoca. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONT000fy9zxynl02wx5ok0p-vo4k359f3bo9.html>, 2017. Acesso em 14 de Outubro de 2023.
- Frazão, J.J., da Silva, A.R., da Silva, V. L., Oliveira, V.A., Corrêa,R.S. (2014) Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Campina Grande*, PB, ISSN 1807-1929 v.18, n.12, p.1262–1267.
- Freitas, I.L.J., Amaral Júnior, A.D., Freitas Júnior, S.P., Cabral, P.D.S., Ribeiro, R.M., Gonçalves, L.S.A. (2014). Genetic gains in the UENF-14 popcorn

population with recurrent selection. *Genetics and Molecular Research*, 13(1): 518-527.

Fritsche-Neto R, Akdemir D, Jannink J-L (2018) Correction to: accuracy of genomic selection to predict maize single-crosses obtained through different mating designs. *Theor Appl Genet* 131:1603–1603

Furlaneto, F.P.B., Esperancini, M.S.T. (2010) Custo de produção e indicadores de rentabilidade da cultura do milho safrinha. *Pesq. Agropec. Trop.*, v.40, p.297-303. DOI: 10.5216/pat.v40i3.8609.

Gabriel, L.C., Pereira, C.B., Bavia, G.P., Coan, M., Donel, A.A., Tessmann, D.J., Scapim, C.A. (2018) Evaluation of resistance of popcorn maize genotypes to fumonisin accumulation and *Fusarium* ear rot. *Summa Phytopathologica*, 44:286-288.

Galinat, W. C. (1977) The origin of corn. In: Sprague, G.F improvement. 1. ed, New York: Academic Press, p.1-48.

Galvão, J.C.C.; Sawazaki, E.; Miranda, G.V. (2000) Comportamento de híbridos de milho-pipoca em Coimbra, Minas Gerais. *Revista Ceres*, Viçosa, v.47, n.270, p.201-218.

Gama, E. E. G., Magnavaca, R., da Silva, J.B., Sans, L.M. A., Viana, P.A., Parentoni, S.N., Pacheco, C.A.P., Correia, L.A., Fernandes, F.T. (1990) Milho-pipoca. Informe agropecuário, Belo Horizonte, v. 14, n. 165, p. 12-16. Disponível em:<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/476568/1/Milhopipoca.pdf> . Acesso em: 20 ago. 2023.

Godoy Júnior, C., Graner, E.A. (1964) Milho: adubação mineral nitrogenada. IV – Parcelamento do calnitro. *Revista de Agricultura*, v.39, p.185-189.

Gomes, R. F., Silva, A. G., Assis, R. L., Pires, F. R. (2007) Efeito de doses e da época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agronômicos da cultura do

milho sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 931-938.

Goodman, M.M., Smith, J.S.C. (1987) Botânica. In: Paterniani E, Viegas GP. *Melhoramento e produção de milho*. Campinas: Fundação Campinas: p. 41 - 78.

Gralak, E., Faria, M.V., Rossi, E.S., Júnior, O.P., Gabriel A., Mendes, M.C., Scapim, C.A., Neumann, M. (2015) Capacidade combinatória de híbridos de milho para produção de grãos e severidade de doenças foliares em dialelo circulante. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.14, n.1, p. 116-129.

Griffing, B. (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Aust J Biol Sci* v.9, p.463–493.

Guadagnin, J. P. (2002) Milho-pipoca. 2. ed. Porto Alegre: FEPAGRO, *Circular técnica* 09, 11p.

Guimarães, A.G. (2016) Ganhos genéticos por seleção recorrente e estreitamento genético na população UENF 14 de milho-pipoca por marcadores SSR-ESTs. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 89p

Hallauer, A.R., Miranda Filho, J.B. (1988) Quantitative genetics in maize breeding. Ames: *Iowa University Press*. Acesso em: 12 jan. 2024.

Han, M., Wong, J., Su, T., Beatty, P.H., Good, A.G., (2016) Identification of Nitrogen Use Efficiency Genes in Barley: Searching for QTLs Controlling Complex Physiological Traits. *Frontiers in Plant Science*, v. 7.

Hoffland, E., Jeger, M.J., Beusichem, M.L.V., (2000) Effect of nitrogen supply rate on disease resistance in tomato depend of the pathogen. *Plant and Soil*, New York, v.218, p.239-247, Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1023/a:1014960507981>. Acesso em: 07 Fev. 2023.

Hoffmann, L.L., Reis, E.M., Forcelini, C.A., Panisson, E., Mendes, C.S., Casa, R.T. (2004) Efeitos da rotação de cultura, de cultivares e da aplicação de fungicida sobre o rendimento de grãos e doenças foliares em soja. *Fitopatologia Brasileira* 29:245-251.

Huang, H., Thu, T.N.T., He, X., Gravot, A., Bernillon, S., Ballini, E., Morel, J.B. (2017) Increase of Fungal Pathogenicity and Role of Plant Glutamine in Nitrogen-Induced Susceptibility (NIS) To Rice Blast. *Frontiers in plant science*. v.8, p.1-16.

IBGE – (2023) INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento de safras. Disponível em: Acesso em: 10 junho de 2023.

IFA - (2013) International Fertilizer Industry Association. IFA database. 17 Set.

IFA - (2022) An unfolding food crisis: a perspective from the fertilizer industry. Disponível em:

https://www.fertilizer.org/Public/News___Events/IFA_News/2022_04_21_An_Unfolding_Food_Crisis.aspx Acesso em 11 de jul. 2023.

IFA - (2015) O uso de fertilizantes minerais e o meio ambiente. Disponível em: <https://www.fertilizer.org>. Acesso em 14 Dez. 2023.

Jardine, D. F., Laca-Buendía, J. P. (2009) Eficiência de fungicidas no controle de doenças foliares na cultura do milho. *Fazu em Revista*, Uberaba, n. 06, p. 11-52.

Julian, A.M., Wareing, P.W., Phillips, S.I., Medlock, V.P.F., MacDonald, M.V., del Rio, L.E. (1995) Fungal contamination and selected mycotoxins in pre-an-post-harvest maize in Honduras. *Mycopathologia*, v.129, p.5-16.

- Juliatti, F. C., Brandão, A. M., Santos, J. A. (2007) Fungicidas na pare aérea da cultura do milho: evolução de doenças fúngicas, perdas, resposta de híbridos e melhoria da qualidade da produção. Luz, W. C. *Revisão Anual de Patologia de Plantas*, Passo Fundo, v. 15, p. 277-344.
- Kaefer, K.A.C. (2017) Caracterização de linhagens, mapeamento por associação e controle genético para resistência às doenças foliares em milho no oeste do Paraná. *Dissertação* (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
- Kist, B. B.; Carvalho, C.; Beling, R. R. (2021) Anuário Brasileiro do Milho 2021. Santa Cruz do Sul: Gazeta.
- Kurosawa R.de N.F., Amaral Junior A.T.d, Vivas M., Almeida, R.N., Vivas, J.M.,S., Lima, V.J., Silveira, S.F. (2021) Diallel Analysis for Resistance to Northern Leaf Blight in Popcorn under Contrasting Nitrogen Availability. *Agronomy Journal*. 2021;113:1–10. DOI:10.1002/agj2.20590.
- Kurosawa, R.do N. F., Amaral Júnior, A.T.do, Vivas, J.M.S., Vivas,M., Kamphorst, S.H., Lima, V.J.de, Almeida, R.N.de. (2020) Selection of popcorn hybrids resistant to southern corn leaf blight grown in distinct N availability. *Eur J Plant Pathol*, 158:485–493.
- Kurosawa, R.N.F. (2019) Efeitos gênicos da resistência à helmintosporiose-comum e maidis em milho-pipoca submetido a condições divergentes de nitrogênio no solo. *Tese* (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.
- Kurosawa, R.N.F.; Vivas, M.; Amaral Junior, A.T.; Dos Santos, A.; Mafra, G.S.; Guimarães, A.G.; Schwantes, I.A. (2016) Reaction of popcorn germplasm to polysora rust under field conditions and natural inoculation. *Tropical plant pathology*, v. 41, n. 6, p. 415-422.
- Lanza, F., Figueiredo, J., Figueiredo, F., Costa, R., Moura, L., Moura, O., Martins Lima VJ, Amaral Junior, ATdo, Kamphorst SH, Pena GF, Leite JT,

- Schmitt KFM, Vittorazzi C, Almeida Filho JEde, Mora F. (2016) Combining ability of S3 progenies for key agronomic traits in popcorn: comparison of testers in top-crosses. *Genet Mol Res: GMR*. v.15, p.4.
- Lino, C.M., Silva, L.J.G., Pena, A.S. (2004) Fumonisin: presença em alimentos, implicações na saúde e aspectos legislativos. *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias*, v.99, n.552, p.181-192.
- Ludemann, C., Hijbeek, R., van Loon, M., Murrell, T. S. Dobermann, A., van Ittersum, M.K. (2022) Estimating maize harvest index and nitrogen concentrations in grain and residue using globally available data. *Field Crops Research* 284(132–140):108578. DOI:10.1016/j.fcr.2022.108578.
- Machado Filho, G. C., Nascimento, I. R., Sakai, T. R. P.; Rocha, W. S., Santos, M. M. dos. (2018) Brix e produção de espigas de milho-verde em função de épocas de adubação nitrogenada. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, Guarapuava-PR, v.11, n.1, p.33-41, jan-abr. DOI: 10.5935/PAeT.V11.N1.04.
- Machado, J. R. A., Bermudez, F. (2020) Cultivares. In: Eicholz, E. D., Bredemeier; E. D. E. C.; Bermudez, F.; Machado, J. R. A.; Garrafa, M.; Bispo, N. B.; Aires, R. F., Informações técnicas para o cultivo do milho e sorgo na região subtropical do Brasil: safras 2019/20 e 2020/21. Sete Lagoas: *Associação Brasileira de Milho e Sorgo*, p.112 – 123.
- Mafra, G.S., Amaral Júnior, A.T.D., Almeida Filho, J.E.D., Vivas, M., Santos, P. H.A.D., Santos, J.S., Pena, G.F., Lima, V.J., Kamphorst, S.H., Oliveira, F.T., Souza, Y.P., Shwantes, I.A., Santos, T.O... & Mora, F. (2019). SNP-based mixed model association of growth-and yield-related traits in popcorn. *PLoS One*, 14(6): e0218552.
- Malavolta, E. (2006) Manual de nutrição mineral de plantas. Piracicaba: Editora *Ceres*, 631p.

- Malavolta, E., Basso, L.C., Oliveira, G.D., Vasconcellos, C. A., Santos, Z. G., Fortes, J. M., Fernandes, J., Stamford, N. P., Lorenzi, J. O., Sampaio, N. F., Hass, F. J., Freire, J. C., Souza, M., Ventrone, N., Victoria Filho, R., Rosalén, C. A., Zago, E. A., Miranda, M. T., Lima, S. A., Castro, A. M. G., Souza, A. P., Lopes, E. S., Sobral, L. F., Lovato, L. A., Menezes, M., Tisselli filho, O. (1976) Estudos sobre a nutrição mineral do milho. Efeito de doses crescentes de N, P e K no crescimento, na produção e na composição mineral da variedade 'Piranão' em condições controladas. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*. Piracicaba, v.33, p.479-499.
- Mangelsdorf, P.C. (1974) Corn its origin, Evolution and improvement. Cambridge: *Harvard university Press*, 262 p.
- Manoza, F.S., Mushongi, A.A., Harvey, J., Wainaina, J., Wanjuki, I., Ngeno, R., Darnell, R., Gnonlonfin, B.G.J., Massomo, D.S.M. (2017) Potential of using host plant resistance, nitrogen and phosphorus fertilizers for reduction of *Aspergillus flavus* colonization and aflatoxin accumulation in maize in Tanzania. *Crop protection*, v.93, p.98-105.
- Marks, B.B., Meígas, M., Nogueira, M.A., Hungria, M. (2013) Biotechnological potential of rhizobial metabolites to enhance the performance of *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* inoculants with soybean and maize. *AMB Express*, v.3, p.21. DOI: 10.1186/2191-0855-3-21.
- Marques, I.F.G. (2020) Identificação de diferentes isolados de *Fusarium* spp. Em plantas de milho com sintomas de fusariose. *Dissertação (Mestrado) em Engenharia Agrônoma*, Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia.
- Martin, T. N., Cunha, V. dos S., Bulcão, F. P. (2013) Manejo da adubação nitrogenada no milho. *Revista Cultivar, UFSM*. Disponível em: <https://www.grupocultivar.com.br/artigos/manejo-da-adubacao-nitrogenada-no-milho>. Acesso em: 10 ago. 2023.

- Melgar, R.J., Smyth, T.J., Cravo, M.S., Sanchez, P.A. (1991) Doses e épocas de aplicação de fertilizante nitrogenado para milho em latossolo da Amazônia Central. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 15, n.3, p.289-296.
- Mendes, M.C., Pinho, R.G.V., Pinho, E.V.R.V., Faria, M.V. (2012) Comportamento de híbridos de milho inoculados com os fungos causadores do complexo grãos ardidos e associação com parâmetros químicos e bioquímicos. *Ambiência – Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, v.8, p.275-292.
- Mengel, D.B., Barber, S.A. (1974) Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. *Agronomy Journal*, Madison, v.66, n.3, p.399-402.
- Michereff, S.J. (2001) *Fundamentos de Fitopatologia*. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 150 p.
- Miranda Filho, J.B., Parterniani, E., Viegas, G.P. (1987) Melhoramento e produção de milho. 2.ed.396p.
- Missmer, S.A., Suarez, L., Felkner, M., Wang, E., Merrill, A.H.J., Rothman, K.J., Hendricks, K.A. (2006) Exposure to fumonisins and the occurrence of neural tube defects along the Texas-Mexico Border. *Environmental Health Perspect*, 114:237-241.
- Munkvold, G.P. (2003) Epidemiology of *Fusarium* diseases and their mycotoxins in maize ears. *Eur J Plant Pathol* v.109, p.705–713.
- Murtadha, M.A., Ariyo, O.J., Alghamdi, S.S. (2016) Analysis of combining ability over environments in diallel crosses of maize (*Zea mays*). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 17 (1): 69-78
- Nerbass, F.R., Casa, R.T., Angelo, H.R. (2008) Sanidade de sementes de milho comercializadas na safra agrícola de 2006/07 em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v.7, p. 30-36.

- Nunes, H.V. (2003) Comportamento de cultivares de milho-pipoca em diferentes épocas de semeadura. *Ceres*, Viçosa, v.50, n.290, p. 445-460.
- Pacheco, C. A. P., Castoldi, F. L., Alvarenga, E. M. (1996) Efeito do dano mecânico na qualidade fisiológica e na capacidade de expansão de sementes de milho-pipoca. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 18, n. 2, p. 267-270.
- Paini, J.N., Cruz, C.D., Delboni, J.S., Scapim, C.A. (1996) Capacidade combinatória e heterose em cruzamentos intervarietais de milho avaliados sob as condições climáticas da região Sul do Brasil. *Revista Ceres*, v.43, p.288-300.
- Paiva, E.A.S., Isaias, R.M.D.S., Vale, F.H.A., Queiroz, C.G.D.S. (2003) The influence of light intensity on anatomical structure and pigment contents of *Tradescantia pallida* (Rose) Hunt. cv. *purpurea* Boom (Commelinaceae) leaves. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 46(4): 617-624.
- Pampana, S.; Mariotti, M. (2021) Durum Wheat Yield and N Uptake as Affected by N Source, Timing, and Rate in Two Mediterranean Environments. *Agronomy*, v. 11, n. 7, p. 1299.
- Pena, G.F. (2015) Progênies parcialmente endogâmicas no melhoramento do milho-pipoca: análise biométrica de topcrosses e divergência genética funcional por marcadores SSR-EST. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 128p.
- Pereira Filho, I. A., Cruz, J. C., Pacheco, C. A. P., Costa, R. V. (2021) Árvores do Conhecimento: Milho-Pipoca. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Brasília, DF.
- Pereira Filho, I.A. (1977) Comportamento dos cultivares de milho (*Zea mays* L.) 'Piranão' e 'Centralmex' em diferentes condições de ambientes,

espaçamentos e níveis de nitrogênio. Lavras: ESAL,84p. *Dissertação* (Mestrado em Fitotecnia).

Pereira Filho, I.A. e E. Borghi. (2022) Cultivares de milho para safra 2022/2023. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Milho e Sorgo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Doc 272. ISSN 1518-4277.

Pereira, M.G., Amaral Júnior, A.T. (2001) Estimation of genetic components in popcorn based on the nested design. *Crop breeding and Applied Biotechnology*, 1(1): 3-10.

Pereira, O. A. P., Carvalho, R. V.; Camargo, L. E. A. (2005) Doenças do milho. In: Kimati, H.; Amorim, L.; Rezende, J. A. M; Filho, A. B.; Camargo, L. E. A. Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas. 4. ed. São Paulo: Ceres, cap. 55, p. 477-488.

Pfann, A., Faria, M. V., Andrade, A. A., Nascimento, I. R., Faria, C. D. R., Bringhentti, R. M. (2009) Combining ability in corn single-cross hybrids by circulant diallel. *Ciência Rural*, v. 39, n. 3, p. 635-641.

Pinho, R.G.V., Brugnera, A., Pacheco, C.A.P., Gomes, M. de S. (2003) Estabilidade de cultivares de milho-pipoca em diferentes ambientes, no estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.2, p. 53-61.

Pires, M. V., Cunha, D.A. da, Carlos, S.de M., Costa, M.H. (2015) Nitrogen-Use Efficiency, Nitrous Oxide Emissions, and Cereal Production in Brazil: Current Trends and Forecasts. *Plos one*, v.10. DOI: DOI: 10.1371/journal.pone.0135234

Pöttker, D., Wiethölter, S. (2004) Épocas e métodos de aplicação de nitrogênio em milho cultivado no sistema plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, n.4, p.1015-1020.

- Pricinotto, L.F. (2009) Resposta do milho-pipoca às doses e épocas de aplicação do nitrogênio em adubação de cobertura. *Dissertação* (Mestrado em produção vegetal) Universidade Estadual de Maringá, Paraná.
- Ramos, M. P. (2020) Estudo da cadeia produtiva de fertilizantes no Brasil.. - *Monografia* (graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro - RJ.
- Rangel, R.M., Amaral Júnior, A.T., Gonçalves, L.S.A., Freitas Júnior, S.P., Candido, L.S. (2011) Análise biométrica de ganhos por seleção em população de milho-pipoca de quinto ciclo de seleção recorrente. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, n.2, p. 473-481.
- Reetz JR, H. F. (2017) Fertilizantes e seu Uso Eficiente. 1º ed. Copyright 2016 IFA. São Paulo.
- Reid, L. M., Zhu, X., Ma, B. L. (2001) Crop rotation and nitrogen effects on maize susceptibility to gibberella (*Fusarium graminearum*) ear rot. *Plant and Soil*,237(1): 1-14.
- Ribeiro, R. M., Amaral Júnior, A. T., Pena, G. F., Vivas, M., Kurosowa, R. N., Gonçalves, L. S. A. (2016) Effect of recurrent selection on the variability of the UENF-14 popcorn population. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, Londrina, v. 16, p. 123-131.
- Robertson-Hoyt, L.A., Kleinschmidt, C.E., White, D.G., Payne, G.A., Maragos, C.M., Holland, J.B. (2006) Heritabilities and correlations of *Fusarium* ear rot resistance and fumonisin contamination resistance in two maize populations. *Crop Science*, 46(1): 353-361.
- Rodovalho, M., Mora, F., dos Santos, E.M., Scapim, C.A., Arnhold, E. (2008) Survival heritability in 169 families of white grain popcorn: a Bayesian approach. *Ciencia e Investigación Agraria*, Santiago, v. 35, n. 3, p. 303-309.

- Ross, P.F., Nelson, P.E., Richard, J.L., Osweiler, G.D., Rice, L.G., Plattner, R.D., Wilson, T.M. (1990) Production of fumonisins by *Fusarium moniliforme* and *F. proliferatum* associated with equine leukoencephalomalacia and a pulmonary edema syndrome in swine. *Applied and Environmental Microbiology*, 56:3225– 3226.
- Sabato, E.O., Pinto, N.F.J.A., Fernandes, F.T. (2013) Identificação e controle de doenças na cultura do milho. Brasília: *Embrapa*, 198p.
- Sangiovo, M. J. R., Basso, C. J., Drews, Á. T. N., Primon, A. M., Souza, F. M. De, Gaviraghi, L., Brondani, M. S. (2022) Produtividade de híbridos de milho-pipoca submetidos a diferentes populações na semeadura. *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da Unipar*, Umuarama, v. 25, n. 2, cont., e8037.
- Sangiovo, M.J.R., Basso, C.J., De Souza, F.M., Feltes, J.D., Drews, A.T.N., de Farias, M.S., Pasinatti, G.A., Leandro, E.V.de S., Vicente, D.M., Marinho, T.B.da S. (2021) Adaptabilidade e época de sementeira de milho-pipoca para a região Sul do Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*, 44(4): 260-268.
- Santos, Adriano dos. (2018) Efeitos gênicos e interação GXA na eficiência do uso do nitrogênio em milho-pipoca. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ
- Santos, P.G., Juliatti, F.C., Buiatti, A.L., Hamawaki, O.T. (2002). Avaliação do desempenho agrônômico de híbridos de milho em Uberlândia, MG. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(5):597-602.
- Sartori, A.F., Reis, E.M., Casa, R.T. (2004) Quantificação da transmissão de *Fusarium moniliforme* de sementes para plântulas de milho. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, DF, v. 29, n. 4, p. 456-458.
- Sawazaki, E. (2001) A cultura do milho-pipoca no Brasil. *O Agrônomo*, v.53, p.11-13. Disponível em:

http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/agronomico/pdf/11_pipoca.pdf.

Acesso em: 12 ago. 2023.

Sawazaki, E., Paterniani, M.E.A.Z., Galvão, J.C.C., Miranda, G. V. (2004) Evolução dos cultivares de milho no Brasil. In: *Tecnologias de produção do milho*, ed. Da UFV. Viçosa: p. 13-53.

Scapim, C.A., Pinto, R.J.B. Amaral Junior, A.T.do, Mora, F., Dandolini, T.S. (2006) Combining ability of white grain popcorn populations. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v.06, p.136-146, 2006.

Scarpino, V., Reyneri, A., Vanara, F., Scopel, C., Causin, R., Blandino, M. (2015) "Relationship between European Corn Borer injury, *Fusarium proliferatum* and *F. subglutinans* infection and moniliformin contamination in maize." *Field Crops Research* v.183, p.69-78.

Schuelter, A.R. (2010) Improvement of a popcorn population using selection indexes from a fourth cycle of recurrent selection program carried out in two different environments. *Genetics and Molecular Research* v.9, n.1, p.340-347.

Schuelter, A.R., Regina, I., Souza, P.D.E., Tavares, F., Xavier, M., Santos, D.O.S., Oliveira, E.D.E., Guimarães, C.T. (2003) *Phaeosphaeria* genetic control of maize resistance to *Phaeosphaeria*. *Rev Bras Milho e Sorgo* v.2, p.80-86.

Schwantes, I.A., Amaral Júnior, A.T. do, Gerhardt, I.F.S. Vivas, M., Silva, F.H.de L., Kamphorst, S.H. (2017) Diallel analysis of resistance to *Fusarium* ear rot in Brazilian popcorn genotypes. *Trop. plant pathol.* (2017) 42:70–75. DOI 10.1007/s40858-017-0136-6.

Schwantes, I.A., Amaral Júnior, A.T.do, Vivas, M., Almeida Filho, J.E.do, Kamphorst, S.H., Guimarães, A.G., Khan, S. (2018) Inheritance of resistance to *Fusarium* ear rot in popcorn. *Crop Breed Appl Biotechnol*, v.18, p.81-88.

- Seabra Junior, S., Lalla, J.G., Goto, R., Maringoni, A.C., Villas Boas, R.L., Rouws, J. R., Oriani, E.E. (2013) Suscetibilidade à podridão negra e produtividade de brócolis em função de doses de nitrogênio e potássio. *Horticultura Brasileira*, 31 (3): 426-431.
- Silva, V.Q.R., Amaral Júnior, A.T.do, Freitas Júnior, S.P., Scapim, C.A., Vittorazzi, C., Silva, T.R.C., Carvalho, G.F. (2009) Capacidade combinatória entre linhagens de milho-pipoca. *Anais do 5º Congresso Brasileiro de Melhoramento Plantas*.
- Silveira, F.T., Junqueira, B.G., Silva, P.C., Moro, J.R. (2006) Comportamento de linhagens elites de milho para resistência aos enfezamentos. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.5, p.431-442.
- Snouijers, S. S., Pérez-García, A., Joosten, M. H., De Wit, P. J. (2000). The effect of nitrogen on disease development and gene expression in bacterial and fungal plant pathogens. *European Journal of Plant Pathology*, v.106, n.6, p.493-506.
- Soares, M. A. (2003) Influência de nitrogênio, zinco e boro e de suas respectivas interações no desenvolvimento da cultura do milho. 92p. Tese (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- Sousa, D.M.G., Lobato, E. (2004) Adubação com nitrogênio. In: Sousa, D.M.G. Lobato, E. (Eds.). Cerrado: Correção do solo e adubação. 2 ed. Brasília: *Embrapa Informação Tecnológica*, p.129-146.
- Souza, I.R.P., Schuelter, A.R., Guimarães, C.T. (2004) Genética da resistência a doenças, com ênfase na virose mosaico-comum do Milho. In: Oliveira, E., Oliveira, C.M. *Doenças em milho. Mollicutes, vírus, vetores e mancha por Phaeosphaeria*. Brasília, DF, p. 227-252.
- Spolaor, L.T., L.S.A., Santos, O.J.A.P.dos, de Oliveira, A.L.M., Scapim, C.A., Bertagna, F.A.B., Kuki, M.C. (2016) Bactérias promotoras de crescimento associadas à adubação nitrogenada de cobertura no desempenho

agronômico de milho-pipoca. *Bragantina*, v.75, p.33-40. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.330>

Stagnati, L., Lanubile, A., Samayoa, L.F., Bragalanti, M., Giorni, P., Busconi, M., Holland, J.B., Marocco, A. (2019) A Genome Wide Association Study Reveals Markers and Genes Associated with Resistance to *Fusarium verticillioides* Infection of Seedlings in a Maize Diversity Panel. *G3 – genes, genomes, genetics*, Volume 9.

Stumpf, R., Santos, J.D., Gomes, L.B., Silva, C.N., Tessmann, D.J., Ferreira, F.D., Machinski Junior, M., Del Ponte, E.M. (2013) *Fusarium* species and fumonisins associated with maize kernels produced in Rio Grande do Sul State for the 2008/09 and 2009/10 growing seasons. *Brazilian Journal of Microbiology* 44:89–95.

Sun, Y., Wang, M., Mur, L.A.J., Shen, Q., Guo, S. (2020) Unravelling the roles of nitrogen nutrition in plant disease defenses. *International Journal of Molecular Sciences*, 21: 572. <http://doi:103390/ijms201020572>.

Sweley, J.C., Rose, D.J., Jackson, D.S. (2012) Hybrid and environment effects on popcorn kernel physiochemical properties and their relationship to microwave popping performance. *Journal of Cereal Science*, v.55, p.188-194.

Teixeira, M. J. (2021) Análise do Mercado de Fertilizantes no Brasil no período de 2016 a 2020. XII FATECLOG – Gestão da Cadeia de Suprimentos no Agronegócio: Desafios e Oportunidades no Contexto Atual. FATEC Mogi das Cruzes, Mogi das Cruzes, São Paulo.

Tesfaye, D., Abakemal, D., Habte, E. (2019) Combining Ability of Highland Adapted Double Haploid Maize Inbred Lines using Line X Tester Mating Design. *East African Journal of Sciences*, v.13 (2) 121-134.

Tomazela, A.L., Favarin, J.L., Fancelli, A.L., Martin, T.N., Neto D.D., dos Reis, A.R. (2006) Doses de nitrogênio e fontes de Cu e Mn suplementar sobre a

severidade da ferrugem e atributos morfológicos do milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Piracicaba, v.5, n.2, p.192-201. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v5n02p%25p>.

Tran, M.T., Ameye, M., Phan, L.T.K., Devlieghere, K., Saeger, S. de, Eeckhout, M., Audenaert, K. (2021) Impact of ethnic pre-harvest practices on the occurrence of *Fusarium verticillioides* and fumonisin B1 in maize fields from Vietnam. *Food Control* v.120, p. 107567.

Ulger, A.C., Becker, A.C., Kant, G. (1987) Response of various maize inbred lines and hybrids to increasing rates of nitrogen fertilizer. *J. Agron. Crop Sci.*, 159:157-163.

Ulloa, A.M.C., Libardi, P.L., Reichardt, K. (1982) Utilização do nitrogênio fertilizante por dois híbridos de milho. Campinas: *Fundação Cargill*, 66p.

Urban, A. F. (2009) Curso de Taxonomia de *Fusarium*, 1. ed, Brasília, DF: Embrapa *Recursos Genéticos e Biotecnologia*, 1folder.

Vencovsky, R., Barriga, P. (1992) Genética Biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto: *Revista Brasileira de Genética*, 486p.

Viana, A. P., Resende, M. D. V. (2014) *Genética quantitativa no melhoramento de fruteiras*. 1. Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 296p.

Vieira, R. A., Rocha, R. D., Scapim, C. A., Amaral Junior, A. T. (2017) Recurrent selection of popcorn composites UEM-CO1 and UEM-CO2 based on selection indices. *Crop Breeding and Applied Biotechnolog.* v. 17, n. 3, p. 266-272.

Vieira, R. A., Scapim, C. A., Tessmann, D. J., Ferreira, F. R. A., Vivas, M., Amaral Júnior, A. T. (2016) A nonparametric approach to selection popcorn hybrids to resistance to foliar diseases. *Científica*, Jaboticabal, v. 44, p. 165-169.

- Vieira, R.A., Rodovalho, M.A., Scapim, C.A., Tessmann, D.J., Amaral Júnior, A.T.do, Bignotto, L.S. (2009) Desempenho agronômico de novos híbridos de milho-pipoca no noroeste do estado do Paraná, Brasil. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.31, p.29-36.
- Vilarinho, A. A. (2001) Seleção de progênies endogâmicas S1 e S2 em programas de melhoramento intrapopulacional e de produção de híbridos de milho-pipoca (*Zea mays* L.). Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 79p.
- Vismer, H. F., Shephard, G. S., Van der Westhuizen, L., Mngqawa, P., Bushula-Njah, V., and Leslie, J. F. (2019) Mycotoxins produced by *Fusarium proliferatum* and *F. pseudonygamai* on maize, sorghum and pearl millet grains in vitro. *International Journal of Food Microbiology* v.296, p.31-36.
- Weatherwax, P. (1954). *Indian corn in old America*. New York, USA: The Macmilan Company, New York 253p.
- Williams, M. A., Munkvold, G.P. (2008) Systemic Infection by *Fusarium verticillioides* in Maize Plants Grown Under Three Temperature Regimes. *Plant Dis.* Dec;92(12):1695-1700. doi: 10.1094/PDIS-92-12-1695. PMID: 30764300.
- White, D.G. (1999) Compendium of Corn Diseases. *American Phytopathological Society Press*, third edition, p.78.
- Yamada, T. (1997) Manejo do nitrogênio na cultura do milho. In: Fancelli, A.L., Dourado-Neto, D.(Coord.) Tecnologia da produção de milho. Piracicaba: ESALQ, p.121-130.
- Yamada, T. (2004) Resistência de plantas as pragas e doenças: pode ser afetada pelo manejo da cultura? *Informações Agronômicas*, Piracicaba, v. 108, 7p.

Yuming, S., Wang, M., Mur, L.A.J., Shen, Q., Guo, S. (2020) Unravelling the Roles of Nitrogen Nutrition in Plant Disease Defenses. *Int. J. Mol. ciência* 21 (2), 572; DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms21020572>.

Ziegler, K. E. (2001) Popcorn. In: Halluer, A. R. Specialty corns. 2.ed. Boca Raton, Florida, p.205-233.

Zinsly, J. R., Machado, J. A. (1987) Milho-pipoca. In: Paterniani, E.; Viegas, G. P. (Ed.). Melhoramento e produção do milho no Brasil. Campinas: *Fundação Cargill*, p. 413-421.