

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE CAPIM-ELEFANTE PARA FINS
ENERGÉTICOS USANDO ESTATÍSTICA GGE-BIPLLOT**

CLEUDIANE LOPES LEITE

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

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
FEVEREIRO – 2021**

SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE CAPIM-ELEFANTE PARA FINS
ENERGÉTICOS USANDO ESTATÍSTICA GGE-BIPLÔT

CLEUDIANE LOPES LEITE

“Dissertação 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 Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas.”

Orientador: Prof. Dr. Rogério Figueiredo Daher

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
FEVEREIRO – 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

L533

Leite, Cleudiane Lopes.

SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE CAPIM-ELEFANTE PARA FINS ENERGÉTICOS USANDO ESTATÍSTICA GGE-BIPLLOT / Cleudiane Lopes Leite. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2021.

60 f. : il.

Bibliografia: 34 - 45.

Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2021.

Orientador: Rogerio Figueiredo Daher.

1. *Pennisetum purpureum Schum.* 2. Técnica multivariada. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 631.5233

SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE CAPIM-ELEFANTE PARA FINS
ENERGÉTICOS USANDO ESTATÍSTICA GGE-BILOT

CLEUDIANE LOPES LEITE

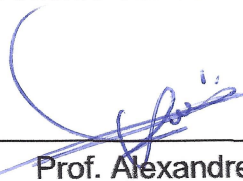
“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas”.

Aprovada em 09 de março de 2021.

Comissão Examinadora:



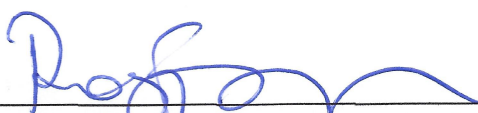
Dr. Antonio Vander Pereira (D.Sc., Genética e Melhoramento de Plantas)
EMBRAPA



Prof. Alexandre Pio Viana (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF



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



Prof. Rogério Figueiredo Daher (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF
(Orientador)

DEDICATÓRIA

A Deus e à minha família, em especial aos meus pais, Antônio Claudio Marques Leite e Maria do Socorro Lopes e aos meus irmãos, pelo apoio e carinho

Com muito amor, dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois durante todo esse percurso permaneceu iluminando meus caminhos e pensamentos;

Aos meus pais Antônio Claudio e Maria do Socorro, pelo amor, pelo carinho, sempre acreditando no meu potencial, pelos ensinamentos que foram essenciais para a minha vida hoje, pelos incentivos para continuidade aos estudos;

Aos meus irmãos, Carleane, Carlene, Claudenir, Claudio, Caio, Raimunda e Raimundo, pois sempre acreditaram e me apoiaram durante toda a minha vida;

Ao meu orientador, Rogério Figueiredo Daher, pela oportunidade de desenvolver este trabalho, pela paciência, dedicando seu tempo para me ajudar, e ainda pela confiança;

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade concedida;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pela concessão das bolsas de mestrado;

Aos membros de banca, Professor Dr. Marcelo Vivas, Dr. Alexandre Pio Viana e ao membro externo Antônio Vander Pereira, agradeço por participar da minha banca e pelas contribuições neste trabalho.

Ao secretário do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas José Daniel, por sempre manter-nos informados, auxiliando nos preparos de documentos com muita competência;

Aos técnicos de campo da PESAGRO, por toda a ajuda durante a condução e avaliações do experimento;

Aos professores do programa de pós-graduação pelas aulas ministradas e conhecimentos passados durante este percurso, contribuindo para minha formação acadêmica;

Agradeço a todos os colegas do curso, que partilhamos de vários estudos, passando por algumas dificuldades, e conseguimos vencer as batalhas juntos.

Agradeço a equipe do Laboratório de Engenharia Agrícola-LEAG, em especial ao grupo do capim-elefante e feijão, João, Ana Késia, Wanessa Stida, Rafael, Leandro, Alexandre, Raiane, em especial aos pós-doutorandos, Grasiela Santana e Moisés Ambrósio pelas contribuições prestadas neste trabalho;

Aos amigos Derivaldo e Jhean que, com seus conhecimentos fizeram algumas contribuições neste trabalho.

As amigas e colegas de república, Adrielen e Kevelin, pelos momentos que passamos juntas, a paciência uma com as outras, estando presentes nos momentos bons e ruins;

Agradeço aos amigos que conheci durante este percurso, em especial, a Daniele e Dalcirlei.

MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo geral	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1. Origem e descrição do capim-elefante	4
3.2. Uso do capim-elefante como fonte de energia	6
3.3. Interação genótipo x ambiente	8
3.4. Adaptabilidade e estabilidade.....	9
3.5. Melhoramento de capim-elefante	11
3.6. GGE-Biplot	12
4. MATERIAL E MÉTODOS	15
4.1. Material vegetal	15
4.2. Condução do experimento	17
4.2. Características avaliadas.....	17
a) Produção de matéria verde (PMV).....	18
b) Porcentagem de matéria seca (%MS).....	18
4.3. Análises estatísticas	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
6. CONCLUSÕES.....	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

RESUMO

LEITE, Cleudiane Lopes; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; março, 2021; Seleção de genótipos de capim-elefante para fins energéticos usando estatística GGE-Biplot. Orientador: Rogério Figueiredo Daher; Conselheiros: Alexandre Pio Viana e Marcelo Vivas.

O capim-elefante é uma espécie de origem africana, adaptado a diversas regiões tropicais e subtropicais, sendo uma forrageira de grande importância na produção de biomassa, tanto para fins forrageiros quanto para fins energéticos. Essa cultura tem ganhado destaque nos programas de melhoramento devido à sua grande variabilidade genética, surgindo como uma oportunidade para processos de seleção de cultivares com alto potencial de biomassa para fins energéticos. O método GGE-Biplot vem sendo utilizado para investigar a interação genótipo x ambiente em diversas culturas com a finalidade de seleção de genótipos superiores. Diante deste contexto, o presente estudo teve por objetivo analisar o desempenho e selecionar genótipos de capim-elefante que sejam simultaneamente produtivos quanto a matéria seca e com boa estabilidade. Para tanto, foi realizado ensaio na Estação Experimental do Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos-CEPAAR (PESAGRO-RIO), no município de Campos dos Goytacazes-RJ. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições, cada bloco composto de quatro famílias com cinco progênies cada e parcelas com cinco plantas, espaçadas de 1,5 m entre e dentro das linhas. Foram realizados quatro cortes e em cada corte mensuradas as seguintes

características: produção de matéria seca da planta (PMS), produção de matéria verde (PMV) e porcentagem de matéria seca (%MS), com produção de matéria seca sendo a variável mais importante. Em seguida, foram realizadas as seguintes análises estatísticas: análise de variância (com auxílio do software Genes) e análise GGE-Biplot (com auxílio do software R). Os cortes 1 e 2 foram mais discriminantes para a seleção de genótipos, visto que foram os ambientes em que os genótipos apresentaram maior quantidade de biomassa vegetal. Os genótipos G15 (família 3- IJ7125 X Cuba 116) e G9 (família 2- IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim) foram indicados para seleção como genótipos ideais para fins energéticos, uma vez que, na análise GGE-Biplot mostraram-se mais estáveis e amplamente adaptados.

ABSTRACT

LEITE, Cleudiane Lopes; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; March, 2021; Selection of elephant grass genotypes for energy purposes using GGE-Biplot statistics. Advisor: Rogério Figueiredo Daher; Committee members: Alexandre Pio Viana e Marcelo Vivas

Elephant grass is a species of african origin, adapted to several tropical and subtropical regions, being a great importance forage in the biomass production, for forage and energy purposes. This crop has gained prominence in breeding programs because its great genetic variability, appearing as an opportunity for cultivars selection processes with high biomass potential for energy purposes. The GGE-Biplot method has been used to investigate the genotype x environment interaction in different crops in order to select superior genotypes. Given this context, this study aimed to analyze the performance and select elephant grass genotypes that are simultaneously productive in terms of dry matter and with good stability. For this purpose, an experiment was carried out at the Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos-CEPAAR (PESAGRO-RIO) Experimental Station, in the municipality of Campos dos Goytacazes-RJ. The design used was a randomized block, with three replications, each block composed of four families with five progenies each and plots with five plants, spaced 1.5 m between and within the lines. Four cuts were performed and in each cut the following characteristics were measured: dry matter production (DMP), fresh matter production (FMP) and dry matter percentage (%DM), with dry matter production

being the most important variable. Then, the following statistical analyzes were performed: analysis of variance (using the software Genes) and GGE-Biplot analysis (using the software R). The cuts 1 and 2 were more discriminating for the genotypes selection, because they were the environments in which the genotypes had the highest plant biomass amount. Genotypes G15 (3-IJ7125 X Cuba 116) and G9 (2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim) were indicated for selection as ideal genotypes for energy purposes, since in the GGE-Biplot analysis they were more stable and widely adapted.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Cruzamentos realizados para a geração de 4 famílias de irmãos completos (família-1 IJ7125 X Taiwan A46, família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim, família 3- IJ7125 X Cuba 116 e família 4-IJ7125 X Mineirão IPEACO.), PESAGRO Rio, Campos dos Goytacazes, 2021. 16
- Figura 2.** Corte e avaliação do experimento no campo, PESAGRO Rio, Campos dos Goytacazes, 2021. 17
- Figura 3.** Avaliação em campo A) pesagem, perfilhos de uma amostra e B) 3 perfilhos sendo picados, PESAGRO Rio, Campos dos Goytacazes, 2021 18
- Figura 4.** Avaliação em campo A) Amostra na estufa B) Pesagem da amostra e C) Amostra seca ao ar (ASA), UENF, Campos dos Goytacazes, 2021. 19
- Figura 5.** Produtividade média de matéria seca dos 20 genótipos nos quatro cortes de avaliação. Genótipos: G01, G02, G03, G04, G05 (família-1 IJ7125 X Taiwan A46), G06, G07, G08, G09, G10 (família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim), G11, G12, G13, G14, G15 (família 3- IJ7125 X Cuba 116), G16, G17, G18, G19, G20 família 4-IJ7125 X Mineirão IPEACO). Cortes C1 (10 meses), C2 (8 meses), C3 (8 meses), C4 (9 meses). PC1: componente principal 1; PC2: componente principal 2, UENF, Campos dos Goytacazes, 2021.....24

Figura 6. Produtividade média dos 4 cortes de avaliação. C1(10 meses), C2 (8 meses), C3 (8 meses) e C4 (9 meses), UENF, Campos dos Goytacazes, 2021. .25

Figura 7. Biplot “which-won-where” apresenta um polígono indicando em seus vértices os genótipos de maior desempenho. Genótipos: G01, G02, G03, G04, G05 (família-1 IJ7125 X Taiwan A46), G06, G07, G08, G09, G10 (família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim), G11, G12, G13, G14, G15 (família 3- IJ7125 X Cuba 116), G16, G17, G18, G19, G20 família 4-IJ7125 X Mineirão IPEACO). Cortes C1 (10 meses), C2 (8 meses), C3 (8 meses), C4 (9 meses). PC1: componente principal 1; PC2: componente principal 2, UENF, Campos dos Goytacazes, 2021.26

Figura 8. Biplot “Means vs. Stabilities” apresentando o desempenho médio dos genótipos ao longo do eixo EAM (Eixo ambiente médio);, indicado pela seta e a estabilidade dos genótipos de acordo com o comprimento do vetor que parte do genótipo ao eixo EAM, Menor vetor = maior estabilidade; EAM (Eixo ambiente médio); Genótipos: G01, G02, G03, G04, G05 (família-1 IJ7125 X Taiwan A46), G06, G07, G08, G09, G10 (família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim), G11, G12, G13, G14, G15 (família 3- IJ7125 X Cuba 116), G16, G17, G18, G19, G20 família 4-IJ7125 X Mineirão IPEACO). Cortes C1 (10 meses), C2 (8 meses), C3 (8 meses), C4 (9 meses). PC1: componente principal 1; PC2: componente principal 2, UENF, Campos dos Goytacazes, 2021.28

Figura 9. Biplot “Discriminateness vs. representativeness” apresentando a visualização vetorial dos ambientes. Maior vetor ambiente = maior discriminação; Genótipos: G01, G02, G03, G04, G05 (família-1 IJ7125 X Taiwan A46), G06, G07, G08, G09, G10 (família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim), G11, G12, G13, G14, G15 (família 3- IJ7125 X Cuba 116), G16, G17, G18, G19, G20 família 4-IJ7125 X Mineirão IPEACO). Cortes C1 (10 meses), C2 (8 meses), C3 (8 meses), C4 (9 meses). PC1: componente principal 1; PC2: componente principal 2, UENF, Campos dos Goytacazes, 2021.30

Figura 10. Biplot “Ranking Genotypes” comparando os genótipos avaliados com a estimativa de um “genótipo ideal”. Genótipos: G01, G02, G03, G04, G05 (família-1 IJ7125 X Taiwan A46), G06, G07, G08, G09, G10 (família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim), G11, G12, G13, G14, G15 (família 3- IJ7125 X Cuba

116), G16, G17, G18, G19, G20 família 4-IJ7125 X Mineirão IPEACO). Cortes C1 (10 meses), C2 (8 meses), C3 (9 meses), C4 (8 meses). PC1: componente principal 1; PC2: componente principal 2, UENF, Campos dos Goytacazes, 2021.....31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Identificação dos genótipos utilizados nos cruzamentos intraespecíficos e os indivíduos gerados para obtenção de famílias de irmãos completos (FIC) de capim-elefante, UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2021.....	16
Tabela 2 Análise de variância de 20 genótipos de capim-elefante para a característica produção de matéria seca, UENF, Campos dos Goytacazes – RJ, 2021.....	23

1. INTRODUÇÃO

O *Pennisetum purpureum* Schum é uma espécie de origem africana descoberta em 1905, mais conhecido como capim-elefante que chegou ao Brasil no ano de 1920, adaptando-se a diferentes regiões do país (Urquiaga et al., 2006, Quéno et al., 2009). Possui elevado potencial de produção de massa seca, valor nutritivo, aceitabilidade, vigor, persistência (Pereira et al., 2010). Para atender a demanda energética, a biomassa de várias plantas gramíneas e oleaginosas estão sendo testadas como matéria-prima para a produção de energia renovável. Entre essas, destaca-se a utilização da biomassa proveniente do capim-elefante que é uma gramínea que adquiriu importância neste quadro estratégico e tem constituído uma importante fonte de estudos para fins energéticos (Rodrigues et al., 2001; Marafon et al., 2017).

O capim-elefante exibe características desejáveis para utilização na produção de energia renovável, visto que apresenta o colmo como uma parte fibrosa, mais dura, que forma a casca e uma medula com feixes vasculares, com estrutura morfológica bastante semelhante à do bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) (Quesada et al., 2004, Marafon et al., 2016).

O uso de energias renováveis utilizando como fonte o capim-elefante pode contribuir para diminuir a dependência do uso do petróleo, que é considerado fonte de energia não renovável (Quesada, 2001).

No Estado do Rio de Janeiro, o mercado de energia tem um importante papel, que influencia até mesmo o nível de renda e emprego na economia norte

fluminense (Novo et al., 2016). Os custos crescentes relacionados à energia gerada a partir de fontes fósseis e os impactos ambientais originados por meio da utilização dessas fontes, de forma intensa e sistemática têm arrastado, desta forma, para o topo da agenda política internacional a obrigação pela busca de novas fontes de energia que sejam renováveis. Neste sentido, o grande desafio será atender a demanda futura de energia conservando pelo menos os atuais níveis de participação das fontes renováveis. Para tanto, será necessário ousar na busca por novas fontes e processos, como o de transformar em negócios sustentáveis, utilizando o melhoramento de plantas com potencial energético para tais fins, como o capim-elefante (Pereira, 2014).

A interação genótipo por ambiente (GE) é considerada um dos principais fatores que limitam a eficiência dos programas de melhoramento genético, por não proporcionar informações em detalhes sobre o comportamento de cada genótipo em diferentes ambientes. Por esse motivo, são realizadas análises de adaptabilidade e estabilidade nas quais torna-se possível a identificação de cultivares de desempenho previsível e que sejam responsivos às alterações ambientais, seja em condições específicas ou amplas (Cruz e Carneiro, 2003).

Os ensaios para avaliação da estabilidade e adaptabilidade também chamados de ensaios de rendimento multi-ambientais (MET- multi environment trials) são realizados para diferentes culturas em todo o mundo (Yan e Rajcan, 2002; Dehghani et al., 2006) não apenas para identificar cultivares de alto rendimento, mas também para identificar locais que melhor representam o ambiente alvo (Yan, 1999; Yan et al., 2000). Os ensaios testam genótipos em vários locais e anos diferentes para avaliar a adaptação da cultura, sendo que muitas vezes há dificuldade para determinar o padrão de respostas genotípicas entre ambientes sem o uso de ferramentas analíticas apropriadas, como GGE-Biplot (Yan et al., 2000; Yan e Tinker, 2006; Jalata, 2011). O modelo GGE-Biplot (genotype main effects + genotype environment interaction), considera o efeito principal de genótipo mais a interação genótipo e ambiente, onde ambas as análises são baseadas em gráficos biplot, que representam graficamente uma matriz de dados (Yan et al., 2000). O método GGE-Biplot vem sendo utilizado para investigar a interação GE em diversas culturas, havendo ainda uma escassez de informações na literatura utilizando este modelo em capim-elefante.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Analisar o desempenho e selecionar genótipos de capim-elefante que sejam simultaneamente produtivos quanto a matéria seca e com boa estabilidade.

2.2. Objetivos específicos

- i. Avaliar o desempenho dos genótipos de capim-elefante relacionado com os períodos dos cortes de avaliação, pelo método GGE-Biplot;
- ii. Estimar a estabilidade e adaptabilidade dos genótipos para produção de biomassa;
- iii. Selecionar genótipos entre as famílias de irmãos completos com boa produção de biomassa.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Origem e descrição do capim-elefante

O capim-elefante é uma das gramíneas mais difundidas em todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo. Este é originário do continente africano, mais especificamente da África Tropical, entre 10°N e 20°S de latitude, tendo sido descoberto em 1905 pelo coronel Napier. Espalhou-se por toda África e foi introduzido no Brasil em 1920, vindo de Cuba (Rodrigues et al. 2001).

Segundo Tcacenco e Botrel (1997) sua descrição original teve início em 1827, desde então vem sofrendo modificações ao longo do tempo. A espécie *Pennisetum purpureum* pertence à família Graminae, sub-família Panicoideae, tribo Paniceae, gênero *Pennisetum* L. Rich e espécie *P. purpureum*, Schumacher (Stebbins e Crampton, 1961).

Estudos recentes, baseados em caracteres morfológicos e análises moleculares, propuseram alterar a nomenclatura do capim-elefante para *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone (Chemisquy et al., 2010; Gutiérrez, 2015).

O capim-elefante está caracterizado como uma gramínea perene, de hábito de crescimento cespitoso, podendo atingir de 3 a 5 metros de altura com colmos eretos dispostos em touceira aberta ou não preenchidos por um parênquima suculento, chegando a 2 cm de diâmetro, com entrenós de até 20 cm. Possuem rizomas curtos, folhas com inserções alternas, de coloração verde escura ou clara e roxo sendo elas pubescentes ou não, chegando a alcançar 10 cm de largura e

110 cm de comprimento. Já a descrição para as folhas, elas apresentam nervura central larga e brancacenta, bainha lanosa, invaginante, fina e estriada, lígula curta, brancacenta e ciliada. Sua inflorescência é uma panícula primária e terminal, sedosa e contraída, ou seja, com racemos espiciformes em forma de espiga, podendo ser solitária ou aparecendo em conjunto no mesmo colmo. Suas panículas possuem em média, 15 cm de comprimento, formada por espiguetas envolvidas por um tufo de cerdas de tamanhos desiguais e de coloração amarelada ou púrpura. Apresenta abundante lançamento de perfilhos aéreos e basilares, podendo formar densas touceiras, apesar de não cobrirem totalmente o solo (Alcântara e Bufarah, 1983; Nascimento Junior, 1981; Deresz, 1999).

O capim-elefante se adapta a variados tipos de ambientes, desde o nível do mar até 2.200 metros. Suporta temperaturas de 18 a 30 °C, mas pode suportar situações de frio. Em relação a chuvas, a espécie sobrevive em um regime pluviométrico de 800 a 4.000 mm e vegeta em regiões quentes e úmidas. É resistente à alta radiação e adapta-se a diferentes tipos de solo, com exceção de solos com pouca drenagem. As plantas podem ser cultivadas em terrenos com declives de até 25 % (Lopes, 2004).

Além disso, o capim-elefante pode ser dividido em quatro grupos morfológicos, considerando as principais características com função discriminatória e importância agrônômica, bem como a constituição genética, sendo eles: Grupo Anão: os genótipos deste grupo são mais adaptados para pastejo em função do menor comprimento dos entrenós. As plantas desse grupo apresentam porte baixo (1,5 m) e elevada relação lâmina: colmo; Grupo Cameroon: apresenta plantas de porte ereto, colmos grossos, predominância de perfilhos basilares, folhas largas, florescimento tardio (maio a julho) ou ausente e touceiras densas, exemplo, os genótipos Cameroon e Guaçu; Grupo Mercker: caracterizado por apresentar um menor porte, seus colmos são finos, folhas finas, menores e mais numerosas, e época de florescimento precoce (março a abril); Grupo Napier: os genótipos deste grupo apresentam variedades de plantas com colmos grossos, folhas largas, época de florescimento intermediária (abril a maio) e touceiras abertas. Como exemplares, podem ser citados os genótipos Napier e Taiwan A-146; Grupo dos Híbridos: resultante do cruzamento entre espécies de *Pennisetum*, principalmente *P.*

purpureum e *P. americanum*. A identificação dos genótipos é importante, pois permite uma recomendação mais próxima da correta (Pereira, 1994).

Entre as peças decisivas para o êxito do manejo dessa espécie para sua utilização como forrageira para alimentação animal estão a manutenção do maior número possível de pontos de crescimento e o acúmulo de forragem nos limites de alcance dos animais, garantindo que o não comprometimento da persistência da pastagem, considerado um ponto importante para a nutrição animal (Veiga e Camarão, 1984). Alternativa como a biomassa de capim-elefante passou a ser considerada mais cuidadosamente, visto o potencial da espécie na utilização para a produção de energia renovável. A utilização desta biomassa energética reduz o gasto de dinheiro estrangeiro na importação de petróleo e contribui para reduzir o efeito estufa ao ser considerada uma opção para substituir combustíveis fósseis (Morais, 2008).

3.2. Uso do capim-elefante como fonte de energia

O capim-elefante é considerado uma das forrageiras de grande importância, devido às suas características, como elevado potencial de produção, boa qualidade forrageira e versatilidade de formas de utilização como capineira, ensilagem, feno, pastagem e também como fonte de biomassa energética (Pereira et al., 2008).

Segundo Rosillo-Calle et al. (2005), a matriz energética mundial, que durante anos foi baseada no uso do petróleo, vem sendo substituída por fontes renováveis devido a limitação dos recursos para obtenção do produto final e principalmente pela produção de gases de efeito estufa e poluição ambiental. Desta forma, observa-se um crescimento do número de pesquisas com a finalidade de desenvolver novas fontes de energia limpa como alternativa para substituir as fontes de energia não renováveis, principalmente após os choques no preço do petróleo na década de 70 e a divulgação de dados sobre o agravamento do aquecimento global.

O capim-elefante é altamente eficiente na fixação de CO₂ (gás carbônico) atmosférico durante o processo de fotossíntese ocorrendo desta forma a produção de biomassa da planta. Esta característica é típica de gramíneas tropicais, de metabolismo C₄, que crescem rapidamente e otimizam o uso da água, dos nutrientes do solo e da energia solar (Lemus et al., 2002). Por ser uma espécie de

rápido crescimento, a biomassa de capim-elefante apresenta alto potencial para uso não apenas na alimentação de animais, mas também como fonte de energia alternativa (Morais et. al. 2009). Segundo Rossi (2010), calcula-se que plantas C_4 são 40% mais competentes na captação de carbono que plantas com ciclo C_3 , pois as plantas C_4 são mais adaptadas a luz e altas temperaturas, já que fazem pouca fotorrespiração pela grande concentração de CO_2 nas células, considerando que as C_4 utilizam menos de 400 gramas de água para produzir um grama de matéria seca vegetal.

O alto potencial de produção de biomassa decorre da combinação de diversos fatores, sendo esses: eficiência fotossintética, armazenamento de carboidratos de reserva, eficiência na interceptação da luz solar, capacidade de rebrotar e perfilhar, absorção de nutrientes, eficiência no uso da água, dentre outros (Rossi et al., 2014). Por ser uma planta que apresenta boa rusticidade, a queima da biomassa do capim-elefante foi proposta como alternativa para a produção de energia, devido a capacidade de se desenvolver bem e crescer em áreas marginais às grandes culturas (Morais et al., 2009), alta produtividade e ciclo curto quando comparado a outras culturas tradicionais, como o eucalipto (Osava, 2007; Rocha et al., 2015).

Considerando as características vantajosas do capim-elefante para uso energético, estudos vêm sendo desenvolvidos para aprimorar o uso de sua biomassa, e neste sentido, novos critérios de seleção têm sido adotados visando o melhoramento da planta para fins energéticos. Vale ressaltar que para fins energéticos, não é de grande interesse uma planta rica em proteína como para a alimentação de bovinos, e sim uma planta rica em fibras e lignina, de alta relação C:N, junto a alta produção de biomassa e capacidade de fixação biológica de nitrogênio (FBN), para que o produto que se queira produzir deste material seja de boa qualidade e com mínimo consumo de energia fóssil (Samson et al., 2005).

Rocha et al. (2009) descrevem que o plantio do capim-elefante deve ser realizado durante o verão, no início da época das chuvas. A colheita pode ser feita entre 60 e 90 dias de cultivo. O cultivo de capim destinado à produção de energia deve ser diferenciado do cultivo para a alimentação animal, feita com uso de fertilizantes. Para fins energéticos, o capim deve ter um menor valor nutritivo, pois a presença de sais minerais gera cinzas que danificam os fornos de combustão.

3.3. Interação genótipo x ambiente

Alguns conceitos são essenciais para o entendimento da interação genótipo x ambiente (G x A), tais como caráter e fenótipo. O caráter de um indivíduo é o conjunto de informações biológicas que o identifica e as diferentes manifestações de um dado caráter definem o fenótipo. Ressalta-se ainda que o fenótipo é influenciado pelo genótipo, constituição genética de um determinado indivíduo, e pelo ambiente, definido como o conjunto das condições que afetam o crescimento e desenvolvimento de um indivíduo (Ramalho et al., 2012), sendo obtido, de maneira simplificada pela expressão $F = G + A$.

A resposta dos genótipos em relação à variação dos componentes ambientais (A) é classificada em dois tipos: previsível e imprevisível. O primeiro inclui todos os fatores permanentes do ambiente (características gerais do clima e tipo de solo), características que variam de maneira sistemáticas, tais como o fotoperíodo, bem como aspectos determinados pelo próprio homem, como datas de plantio e colheita, preparo do solo, dentre outros. Por sua vez, os imprevisíveis relacionam-se as variáveis ambientais como a quantidade e distribuição de chuvas, temperatura e outros fatores climáticos não previsíveis (Allard e Bradshaw, 1964; Ramalho et al., 2012).

No entanto, nem sempre a expressão do fenótipo pode ser decomposta apenas em variações genéticas e ambientais. Por exemplo, se um genótipo for avaliado em mais de um ambiente, a expressão fenotípica será influenciada pelo genótipo (G), ambiente (A) e por um novo componente resultante da interação genótipo por ambiente, seguindo a seguinte expressão: $F = G + A + G \times A$, sendo esta interação decorrente do desempenho particular de cada genótipo nos vários ambientes (Ramalho et al., 2012). Assim, a interação genótipo por ambiente pode ser definida como a alteração no desempenho relativo dos genótipos, em função das diferenças de ambientes (Borém e Miranda, 2009). Nesse contexto, a natureza da interação deve ser atribuída a fatores bioquímicos e fisiológicos de cada material genético, ou seja, a contribuição dos genes ou o nível de expressão dos mesmos é influenciada e/ou regulada pelo ambiente (Kang, 1998; Souza, 2017).

As principais causas de interação G x A são: evolutiva (considerando condições naturais), onde ocorre adaptação específica a determinados ambientes; e melhoramento genético (considerando condições “artificiais”), com seleção para

condições específicas. Dessa forma, do ponto de vista evolucionário, a interação G x A torna-se importante na manutenção da variabilidade genética e na adaptação de espécies (Squilassi, 2003). Não obstante, para o melhoramento genético de plantas, o efeito da interação G x A pode não ser favorável e tornar a seleção e recomendação de genótipos onerosa e lenta, mesmo quando os genótipos apresentam características promissoras, pois pode proporcionar uma alteração no desempenho relativo dos genótipos em virtude da diferença de ambiente (Carvalho et al., 2002).

A interação genótipos x ambientes reduz a correlação entre o fenótipo e o genótipo, indicando que o genótipo superior em um ambiente, normalmente, não terá o mesmo desempenho em outro ambiente, havendo a possibilidade de inversão de performance. Nesse sentido, a interação G x A dificulta o trabalho do melhorista, uma vez que influencia o ganho de seleção. Assim, o melhorista precisa adotar critérios diferenciados para selecionar genótipos superiores e usar métodos alternativos de identificação de material de alto potencial genético e estáveis em diversos ambientes (Cruz, Regazzi e Carneiro, 2012).

Chaves (2001) comenta que “a interação G x A deve ser encarada não como um problema ou um fator indesejável, cujos efeitos devem ser a todo custo minimizado em um programa de melhoramento. Ao contrário, como um fenômeno biológico natural, cumpre compreendê-lo bem, para melhor aproveitá-la no processo de seleção”. No Brasil, devido a sua condição tropical, há uma vasta heterogeneidade ambiental, o que torna a interação G x A digna de atenção, especialmente por parte dos melhoristas de plantas.

3.4. Adaptabilidade e estabilidade

Os programas de melhoramento genético de plantas buscam identificar genótipos de adaptabilidade ampla ou específica e também aqueles com comportamento previsível. Adaptabilidade pode ser definida como a capacidade dos genótipos de aproveitarem vantajosamente o estímulo do ambiente, enquanto a estabilidade se refere à capacidade dos genótipos mostrarem uma resposta altamente previsível em função do estímulo do ambiente. Na literatura, são encontradas mais de uma dezena de metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade destinadas à avaliação de um grupo de genótipos testados em vários

ambientes, essas metodologias são fundamentadas na existência da estimativa das interações e distinguem-se dos conceitos de estabilidade adotados e de certos princípios estatísticos empregados (Eberhart, S.A. e Russel, 1966; Scapim et. al, 2000). A escolha do método depende dos dados experimentais, principalmente os relacionados com um número de ambientes disponíveis, da precisão requerida e do tipo de informação desejada (Cruz, Regazzi e Carneiro, 2012).

As análises de adaptabilidade e estabilidade além de serem procedimentos estatísticos que admitem identificar as cultivares de desempenho mais estável e que contestam previsivelmente às variações ambientais, essas análises podem aceitar, também, dividir os efeitos da interação $G \times A$ em efeitos de genótipos e de ambientes, revelando a contribuição relativa de cada um para a interação total (Rocha, 2002; Cargnelutti Filho e Guadagnin, 2018). De tal modo, a estimação dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica tem sido muito difundida, entre os melhoristas de plantas, como uma forma de avaliar novos genótipos antes de sua indicação como cultivares.

A estabilidade se refere à capacidade de os genótipos mostrarem uma resposta altamente previsível em função do estímulo do ambiente, seguindo a mesma linha, a estabilidade indica a capacidade dos genótipos proporcionarem um comportamento previsível, em função do estímulo ou do efeito sofrido pelo ambiente (Cargnelutti Filho e Guadagnin, 2018). Assim, define-se um genótipo ideal aquele que apresenta adaptabilidade geral, previsibilidade alta, sendo capaz de responder ao estímulo do ambiente e ser estável, mantendo bom desempenho, mesmo em condições desfavoráveis (Eberhart e Russel, 1966; Afféri et al., 2020).

A recomendação de genótipos específicos para cada ambiente, a estratificação de uma área heterogênea em sub-regiões homogêneas e a identificação de genótipos com ampla adaptabilidade e estabilidade são as alternativas para atenuar o efeito da interação genótipos \times ambientes ($G \times A$) (Garbuglio et al., 2007). Nesse sentido, os estudos de estabilidade fenotípica permitem sintetizar o enorme volume de informações obtidas, caracterizando a capacidade produtiva, a adaptação às variações de ambiente e a estabilidade de genótipos (Raizer e Vencovsky, 1999, Cunha Dias et al., 2009).

Uma nova cultivar para ser bem-sucedida deve apresentar os seguintes requisitos: ter alta produtividade e alto desempenho para características agronômicas em uma ampla gama de condições ambientais. Dessa maneira,

melhoristas de plantas normalmente concordam sobre a importância da alta estabilidade da produção, mas não necessariamente sobre a definição adequada de estabilidade (Ferreira et al., 2006).

3.5. Melhoramento de capim-elefante

O melhoramento genético é a arte e a ciência que visa a obtenção de plantas geneticamente superiores. O melhoramento de plantas vem sendo realizado desde os primórdios da agricultura, quando os agricultores começaram a selecionar as espécies e variedades mais desejáveis. Entre as maiores contribuições do melhoramento de plantas destacam-se o aumento da produtividade, melhoria da qualidade nutricional de alimentos a exemplo do aumento no teor de vitamina A e matéria seca na batata, teor de proteínas no feijão, fibras mais resistentes no algodão, e outras necessidades como melhoria para a obtenção de variedades para colheita mecanizada, melhoramento da arquitetura de plantas, uniformidade, precocidade, plantas resistentes a pragas, doenças e às condições adversas de solo e de clima (Borém et al., 2017; Amabile et al., 2018).

Os métodos de melhoramento indicados para cada espécie são escolhidos de acordo com o modo de reprodução da espécie estudada. Portanto, as metodologias de melhoramento desenvolvidas para plantas alógamas podem ser empregadas no melhoramento do capim-elefante. Sendo assim, os métodos mais empregados são introdução e seleção de plantas, hibridação intra e interespecífica e seleção recorrente fenotípica (Pereira et al., 2003).

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) vem desenvolvendo um programa de melhoramento genético de capim-elefante almejando a obtenção de genótipos adaptados às condições edafoclimáticas da Região Norte Fluminense, para atender as demandas para aptidão forrageira e para bioenergia. Dentre as pesquisas realizadas, estão as que visam genótipos superiores para alimentação na produção animal, com qualidade como forrageira (Cunha, 2012; Oliveira, et al., 2013; Schneider, 2013; Silva et al., 2014;) e para produção de energia, genótipos com potencial energético (Lima et al., 2011; Barbé, 2012; Rossi et al., 2014; ; Daher et al., 2014; Menezes et al., 2014; Oliveira et al., 2014; Santos et al., 2014; Rocha et al., 2015; Sousa et al., 2016).

Freitas et al. (2018) avaliaram o efeito de cinco épocas de colheitas, sendo essas: 8, 12, 16, 20 e 24 semanas, com foco no rendimento e composição química relacionado a qualidade da biomassa de seis genótipos de capim-elefante. Aplicando o método de análise de regressão para determinar a idade ideal de corte do capim-elefante para fins energéticos, associou a quantidade com a qualidade da matéria seca para utilização na geração de energia, concluindo que a melhor idade de colheita para a avaliação dos genótipos de capim-elefante foi para época de colheita com 20 semanas.

Vidal (2018) gerou informações sobre a cultura com a realização de cruzamentos com o objetivo de obter híbridos de capim-elefante com potencial para fins energéticos. Estimando a capacidade combinatória de dez genitores de capim-elefante, conseguiu encontrar híbridos considerados com potencial para utilização na produção de biomassa-energética. E ainda, Cassaro (2018) selecionou entre e dentro de famílias de irmãos completos de capim-elefante por meio das estimativas de parâmetros genéticos utilizando a metodologia REML/BLUP, assim, encontrou duas famílias com grande potencial e alcançando a seleção de 10 híbridos que exibiram destaque entre os demais, pois obtiveram os maiores ganhos genéticos para PMS e NP.

3.6. GGE-Biplot

Desenvolvido por Gabriel (1971), o método ou análise biplot, apresenta graficamente resultados de análise de componentes principais ou de decomposição de valores individuais (Yan e Kang, 2003). A resposta distinta dos genótipos em diferentes condições ambientais é denominada de interação genótipo por ambiente (GE), em que reduz a correlação entre os valores fenotípicos e genotípicos e exige maior compreensão dos padrões de interação para a seleção e recomendação de genótipos adaptados e estáveis (Yan e Holland, 2010). O controle genético liga a expressão das características das plantas cultivadas ao ambiente, e posteriormente há uma interação entre esses dois fatores, que é a interação GE (Yan e Kang, 2003; Mohammad e Amri, 2009).

O GGE-Biplot é um modelo com representação gráfica para identificação das melhores cultivares, com um maior desempenho em todos os ambientes, em que os gráficos biplot gerados facilitam a escolha de genótipos estáveis de alto

rendimento, principalmente em ensaios multi-ambientes (Yan e Kang, 2002). A interpretação do desempenho de vários genótipos em uma ampla gama de ambientes é geralmente afetada por grandes interações $G \times E$ (Gauch e Zobel, 1996; Phuke et. al, 2017).

A presença de inconsistência no desempenho de genótipos em diferentes ambientes torna o trabalho de melhoristas ainda mais desafiador, pois nenhum genótipo apresenta constância em seu desempenho superior em todos os ambientes. Nessa situação, a análise GGE-Biplot é indicada para selecionar genótipos que apresentam relativa consistência nos ambientes em teste, genótipos estáveis e amplamente adaptados ou selecionar genótipos especificamente adaptados para produção em diferentes ambientes.

O método GGE-Biplot é vantajoso, pois esta análise pode nos mostrar os genótipos e os ambientes ideais, que podem ser usados como referência para avaliar genótipos e selecionar ambientes com maior interação $G \times E$ (Santos et al., 2016).

O método GGE-Biplot possibilita agrupar os ambientes de avaliação em mega-ambientes, determinando quais genótipos são os melhores para cada mega-ambiente, desta forma, facilita a seleção de genótipos superiores. Mega-ambiente é o agrupamento de ambientes, sendo estes positivamente correlacionados em cada setor dos polígonos (Yan et al., 2000), adaptando uma exploração mais eficiente do $G \times E$, com maior exatidão para identificar mega-ambientes e, por fim selecionar genótipos estáveis e adaptados para ambientes e mega-ambientes específicos (Silva e Benin, 2012). Nesse método, o biplot “which-won-where” que significa quem-ganha-onde, agrupa os ambientes de teste, determinando os genótipos com melhor ou pior desempenho médio para cada mega-ambiente.

Santos et al. (2017), avaliaram linhagens puras de milho-pipoca quanto ao uso de nitrogênio, observaram por meio da análise GGE-Biplot, que os dois primeiros componentes principais respondem por 93,82% da variação total, mostrando que o método GGE-Biplot explicou uma grande proporção da soma dos quadrados dos genótipos e da interação GE. Isto demonstra, um alto nível de confiança nos resultados produzidos pela técnica multivariada, recomendando o método GGE-Biplot na identificação confiável de linhagens de milho-pipoca que são eficientes e responsivas ao uso de nitrogênio.

O modelo GGE-Biplot é mais indicado para a identificação de mega-ambientes, seleção de ambientes representativos e discriminativos e indicação de cultivares mais adaptadas e estáveis a ambientes específicos (Gauch et al., 2008; Yan, 2011).

4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido na Estação Experimental do Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos-CEPAAR (PESAGRO-RIO), situada a 21° 19' 23" Sul e 41° 19' 40" Oeste, numa altitude média de 25 m, município de Campos dos Goytacazes, região Norte do Estado do Rio de Janeiro.

O clima da Região Norte Fluminense é do tipo Aw, tropical quente e úmido, com período seco no inverno e chuvoso no verão (Köppen, 1948), com precipitação anual média em torno de 1.152 mm (INMET, 2018).

4.1. Material vegetal

Para a realização de cruzamentos foram utilizados os genótipos IJ7125, Taiwan A46, Elefante Cachoeiro de Itapemirim, Cuba 116, Mineirão IPEACO, os quais pertencem ao Banco Ativo de Germoplasma (BAG) da Universidade Estadual do Norte Fluminense. A utilização desses genótipos nos cruzamentos teve por objetivo a obtenção das quatro famílias de irmãos completos. Os genótipos utilizados nestes cruzamentos foram selecionados de acordo com suas disponibilidades de pólen, e suas características desejáveis para produção de biomassa.

Tabela 1 Identificação dos genótipos utilizados nos cruzamentos intraespecíficos e os indivíduos gerados para obtenção de famílias de irmãos completos (FIC) de capim-elefante, UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2021.

Genótipos	Procedência
IJ7125	Santa Catarina
Taiwan A46	Brasil/UFRRJ
Elefante Cachoeiro de Itapemirim	Brasil/UFRRJ
Cuba 116	Embrapa Gado de Leite
Mineirão IPEACO	Brasil/UFRRJ

Os cruzamentos foram realizados da seguinte maneira, utilizando o genótipo IJ7125 (doador de pólen) e cruzando com os demais genótipos que foram eles: Taiwan A46, Elefante Cachoeiro de Itapemirim, Cuba 116 e Mineirão IPEACO. Formando por meio destes cruzamentos as seguintes famílias: família-1 IJ7125 X Taiwan A46, família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim, família 3- IJ7125 X Cuba 116 e família 4-IJ7125 X Mineirão IPEACO (Figura 1).



Figura 1. Cruzamentos realizados para a geração de 4 famílias de irmãos completos (família-1 IJ7125 X Taiwan A46, família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim, família 3- IJ7125 X Cuba 116 e família 4-IJ7125 X Mineirão IPEACO.), PESAGRO Rio, Campos dos Goytacazes, 2021.

4.2 Condução do experimento

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com três repetições, sendo cada bloco composto de 20 genótipos (quatro famílias), com parcelas que foram compostas de cinco plantas espaçadas de 1,5 m entre e dentro das linhas.

Para a avaliação do experimento foram realizados quatro cortes, com uma variação de 8 a 10 meses entre um corte e outro, sendo este intervalo de tempo recomendado para produção de biomassa (Freitas, et al.,2018).

O experimento foi implantado em outubro de 2017 sendo realizado o corte 1 no mês de agosto/ 2018 (10 meses), o corte 2 no mês de abril/2019 (8 meses), o corte 3 em dezembro/2019 (8 meses) e o corte 4 em setembro/2020 (9 meses) (Figura 2).



Figura 2. Corte e avaliação do experimento no campo, PESAGRO Rio, Campos dos Goytacazes, 2021.

4.2. Características avaliadas

Foram avaliadas as três características morfoagronômicas em cada corte de avaliação, sendo estas:

a) Produção de matéria verde (PMV)

Esta característica é correspondente a pesagem de matéria verde de todos as plantas touceira, sendo esta proveniente de uma semente. Uma amostra da touceira composta de 3 plantas adultas foi retirada, picada e acondicionada em saco de papel identificados para a obtenção da característica de porcentagem de matéria seca (Figura 3).



Figura 3. Avaliação em campo A) pesagem, perfilhos de uma amostra e B) 3 perfilhos sendo picados, PESAGRO Rio, Campos dos Goytacazes, 2021

b) Porcentagem de matéria seca (%MS)

O material foi picado e identificado em saco de papel, foi pesado e colocado em estufa a 65°C por 72 horas. Em seguida, as amostras foram novamente pesadas para a obtenção da amostra seca ao ar (ASA) (Figura 4), de acordo com a metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002), expressa em porcentagem. O material seco foi moído em moinho tipo willey com peneira de 1 mm e acondicionado em sacos plásticos para a determinação da amostra seca em estufa (ASE). Para a determinação da ASE, 2 g de cada amostra de material moído foram mantidos em estufa a 105 °C por 18 horas, e posteriormente esse material foi novamente pesado, também de acordo com a metodologia de Silva e Queiroz (2002), expressa em porcentagem.



Figura 4. Avaliação em campo A) Amostra na estufa B) Pesagem da amostra e C) Amostra seca ao ar (ASA), UENF, Campos dos Goytacazes, 2021.

c) Produção de matéria seca da planta (PMS)

A produção de matéria seca é obtida pelo produto da produção de matéria verde da parcela vezes a percentagem de matéria seca (t/ha).

$$PMS = PMV * \%MS("Eq. 1)''$$

4.3. Análises estatísticas

Para as análises estatísticas, primeiramente foi realizada a análise de variância (ANOVA) dos genótipos com o auxílio do software Genes (Cruz, 2013). Essa análise destinou-se à verificação da presença de variabilidade genética entre os tratamentos (genótipos), sendo um procedimento usado para comparar a

distribuição dos grupos em amostras independentes, seguindo o seguinte modelo estatístico.

$$Y_{ijk} = m + P_i + B_j + \text{Erro}A_{ij} + S_k + \text{Erro}B_{jk} + PS_{ik} + \text{Erro}C_{ijk} \text{ (Eq. 2)}$$

Em que;

Y_{ijk} é o valor observado no i -ésima parcela, k -ésimo bloco e j -ésima subparcela;

m é a média geral associada a todas as observações;

P_i é o efeito do i -ésima parcela;

B_j é o efeito do j -ésimo bloco;

$\text{Erro}A_{ij}$ é o resíduo de (a) da parcela;

S_k é o efeito do k -ésimo de subparcela;

$\text{Erro}B_{jk}$ é o resíduo de (b) da subparcela;

PS_{ik} é o efeito da interação entre o i -ésima da parcela e k -ésima subparcela;

$\text{Erro}C_{ijk}$ é o resíduo de (c) da interação parcela e subparcela.

As análises da produção de matéria seca dos genótipos dos quatro cortes foram realizadas com o auxílio do software R, utilizando o método GGE-Biplot considerando o seguinte modelo:

$$Y_{ij} - \mu = G_i + E_j + GE_{ij} \text{ (Eq. 3)}$$

em que;

Y_{ij} é a média fenotípica do genótipo i no ambiente j ;

μ é média geral; G_i é o efeito aleatório do genótipo i ;

E_j é o efeito fixo do ambiente j ;

GE_{ij} é o efeito aleatório da interação do genótipo i e ambiente j .

O modelo GGE-Biplot não separa o efeito genótipo (G) do efeito genótipo / ambiente (GE). Neste modelo, G e GE são mantidos juntos em dois termos multiplicativos, utilizando a seguinte equação como descrito a seguir:

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = g1_i e 1_j + g2_i e 2_j + \varepsilon_{ij} \text{ (Eq. 4)}$$

em que;

Y_{ij} é o desempenho esperado do genótipo i no ambiente j ;

μ é a média geral de observações;

β_j é o efeito principal do ambiente j ;

g_{1i} e e_{1j} são as principais pontuações do i -ésimo genótipo no j -ésimo ambiente, respectivamente;

ε_{ij} é o resíduo não explicado de ambos os efeitos.

Os gráficos biplot no modelo GGE foram gerados pela dispersão de g_{1i} e g_{2i} para avaliar os genótipos; e de e_{1j} e e_{2j} para avaliar os ambientes baseados na Decomposição de Valor Singular (SVD), obtidos pela equação:

$$Y_{ij} = \mu - \beta_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{1j} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{2j} + \varepsilon_{ij} \text{ (Eq. 5)}$$

em que;

λ_1 e λ_2 são os maiores autovalores do primeiro e do segundo componentes principais: PC1 e PC2, respectivamente;

ξ_{i1} e ξ_{i2} são os autovetores do i -ésimo genótipo de PC1 e PC2, respectivamente;

η_{1j} e η_{2j} são os autovetores do j -ésimo ambiente do PC1 e PC2, respectivamente (Yan, 2001).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para verificar a significância dos efeitos das fontes de variação foi aplicada análise de variância. De acordo com a análise, observou-se que os 20 genótipos avaliados apresentaram diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste F, para os efeitos de parcela, subparcela e para a interação. Isso demonstra que existe variabilidade significativa a ser explorada quanto aos genótipos e cortes. Esta variabilidade influencia diretamente na produção de matéria verde e conseqüentemente na matéria seca produzida pelos genótipos em função dos cortes realizados (Tabela 2).

O coeficiente de variação da interação, foi de 13,34%, podendo ser considerado de média magnitude. Em experimentos de campo com culturas agrícolas, esses coeficientes de variação indicam a precisão do experimento, sendo considerados baixos aqueles inferiores a 10%; os médios, quando variam de 10% a 20%; altos, quando variam de 20% a 30%; e muito altos, quando são superiores a 30% (Fonseca e Martins, 1996).

A presença do efeito significativo para a interação Genótipos x Ambiente (cortes) indica que o comportamento dos genótipos variou de um ambiente para outro, com diferença na classificação da produtividade dos genótipos (Tabela 2).

Para avaliar o desempenho dos genótipos nos ambientes (cortes) realizados, foi aplicado o método GGE-Biplot. Nesta análise, observa-se que os dois primeiros componentes principais são responsáveis por 64,58% e 25,71% respectivamente, totalizando juntos 90,29% da variação total da produção, Gravina

et al. (2020) avaliando genótipos de capim-elefante encontrou resultados semelhantes, pois, os dois primeiros componentes principais (PCs) da análise GT Biplot apresentaram um total de 70,07%, e segundo Yang et al. (2009) essa porcentagem apresenta uma boa confiabilidade, pois explica mais de 60% da variação do conjunto de dados no ensaio com capim-elefante nos quatro cortes

Tabela 2 Análise de variância de 20 genótipos de capim-elefante para a característica produção de matéria seca, UENF, Campos dos Goytacazes – RJ, 2021.

FV	GL	SQ	QM	F
Blocos	2	474,8219	237,41	
Genótipos	19	4060,35338	213,70	8,55**
Resíduo a	38	949,24944	24,98	
Cortes	3	22522,91665	7507,64	180,43**
Resíduo b	6	249,66383	41,61	
Genotipo x Cortes	57	6119,703292	107,36	3,25**
Resíduo c	114	3759,3730	32,98	
Total	239	38136,0815		
CV%	13,34			

** P < 0,01, significativo ao nível de 1% de probabilidade, de acordo com o teste F.

Os genótipos que apresentaram maior produção de matéria seca foram o G04 (família-1 IJ7125 X Taiwan A46) e G19 (família 4-IJ7125 X Mineirão IPEACO) seguidos do G06 (família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim). Entre os cortes de avaliação, o que apresentou maior produção para todos os genótipos foi o primeiro corte (Figura 5). O genótipo G04 (família-1 IJ7125 X Taiwan A46) obteve maior produção de matéria seca, principalmente no primeiro corte de avaliação, nos cortes seguintes, a quantidade de matéria seca diminuiu, assim como o G19 (família 4-IJ7125 X Mineirão IPEACO) e o G06 (família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim) que também se mostraram mais produtivos no primeiro corte e nos cortes seguintes foram diminuindo essa quantidade de matéria seca, não mostrando constância no desempenho da produção de matéria seca de capim-elefante (Figura 5).

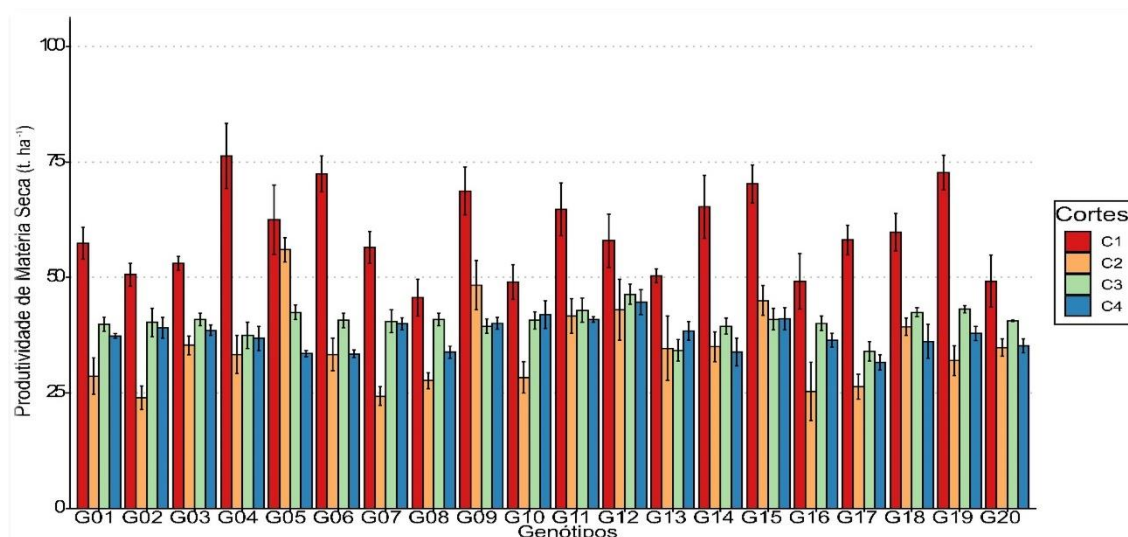


Figura 5. Produtividade média de matéria seca dos 20 genótipos nos quatro cortes de avaliação. Genótipos: G01, G02, G03, G04, G05 (família-1 IJ7125 X Taiwan A46), G06, G07, G08, G09, G10 (família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim), G11, G12, G13, G14, G15 (família 3- IJ7125 X Cuba 116), G16, G17, G18, G19, G20 família 4-IJ7125 X Mineirão IPEACO). Cortes C1 (10 meses), C2 (8 meses), C3 (8 meses), C4 (9 meses). PC1: componente principal 1; PC2: componente principal 2, UENF, Campos dos Goytacazes, 2021.

A média de produção de matéria seca no corte 1 foi de 59,49 t/ha, no corte 2 foi de 34,83 t/ha, no corte 3 foi 40,38 t/ha e no corte 4 de 37,54 (Figura 6), Isso mostra uma boa capacidade para produção de biomassa, sendo este resultado maior que quando comparado com Rodrigues (2017) que buscando em seu estudo também com famílias de irmãos completos encontrou uma produção de PMS média no corte 1 de 21,68 t/ha e a PMS média no corte 2 de 26,37 t/ha. Já quando comparado com o estudo realizado por Silva et al. (2020) que obteve PMS no corte 1 de 63,98 t/ha e no corte 2 de 61,88 t/ha, a produção de matéria seca foi similar no primeiro corte já no segundo corte houve uma grande diferença, reduzindo neste estudo. Estes resultados podem estar associados a variações ambientais quanto a capacidade de rebrota dos genótipos, disponibilidade de água, quantidade de luminosidades, entre outros.

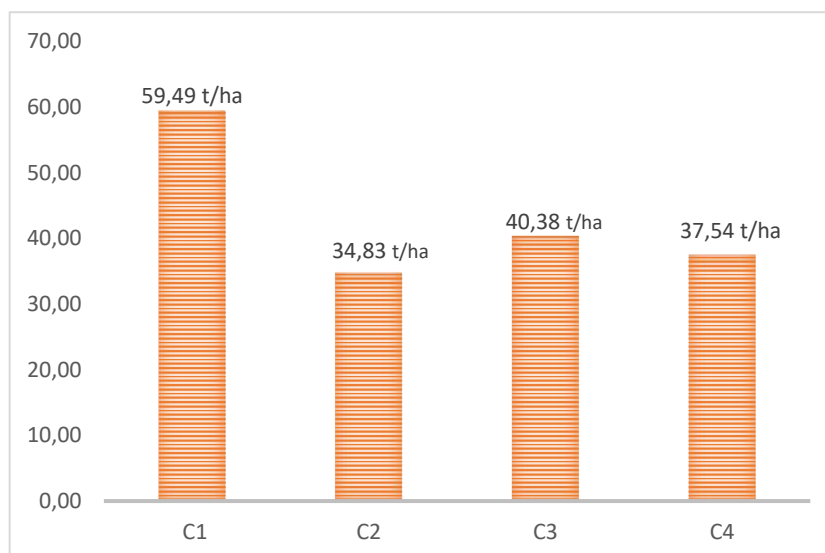


Figura 6. Produtividade média dos 4 cortes de avaliação. C1(10 meses), C2 (8 meses), C3 (8 meses) e C4 (9 meses), UENF, Campos dos Goytacazes, 2021.

Na Figura 7 (“Biplot who-won-where”) dos dados multi-ambientes, definidos pelos cortes, permite-se visualizar onde e em quais cortes os genótipos foram superiores (com maior desempenho), sendo possível averiguar a existência de mega-ambientes diferentes. O genótipo G04 (família-1 IJ7125 X Taiwan A46) possuiu um melhor desempenho, com melhor performance no ambiente C1, neste caso, no primeiro corte de avaliação. Enquanto no corte 2 (C2), o genótipo G05 (família-1 IJ7125 X Taiwan A46) apresentou melhor desempenho, mostrando-se desta forma serem os ambientes mais representativos, com melhor performance dentre os genótipos avaliados. Nos ambientes C3 e C4, devido suas baixas representatividades não foi possível indicar genótipos superiores com base nesses cortes (Figura 7).

O desempenho de um determinado genótipo ou ambiente é observado em relação ao eixo x, onde quanto mais à direita do centro (o) do biplot maior é o desempenho e, já quanto mais à esquerda, menor o desempenho. Genótipos ou ambientes localizados à esquerda e à direita do centro do biplot apresentam desempenho inferior e superior à média geral, respectivamente. A estabilidade é visualizada no eixo y, em que, quanto mais distante do centro (o) do biplot, menor é a estabilidade (Gabriel, 1971; Yan e Kang, 2003; Silva e Benin, 2012).

variabilidade de desempenho, com presença de menor estabilidade, em ambas as direções (Yan, 2011).

Avaliando a estabilidade dos genótipos, foi possível perceber a variação da estabilidade entre eles. Os genótipos que obtiveram uma produtividade de matéria seca acima da média geral foram os G04 (família1- IJ7125 X Taiwan A46), G05 (família1-IJ7125 X Taiwan A46), G06 (família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim), G09 (família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim), G11 (família 3-IJ7125 X Cuba 116), G12 (família 3- IJ7125 X Cuba 116), G14 (família 3- IJ7125 X Cuba 116), G15 (família 3- IJ7125 X Cuba 116), G18 (família 4-IJ7125 X Mineirão IPEACO), G19 (família 4-IJ7125 X Mineirão IPEACO) (Figura 8).

Os genótipos com produtividade de matéria seca abaixo da média geral foram os G01 (família1-IJ7125 X Taiwan A46), G02 (família1-IJ7125 X Taiwan A46), G03 (família1-IJ7125 X Taiwan A46), G07 (família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim), G08 (família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim), G10 (família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim), G13 (família 3- IJ7125 X Cuba 116), G16 (família 3- IJ7125 X Cuba 116), G17 (família 4-IJ7125 X Mineirão IPEACO), G20 (família 4-IJ7125 X Mineirão IPEACO) (Figura 8).

Quanto aos genótipos mais estáveis estão aqueles que se encontram mais próximos do eixo médio, desta forma, o G02 (família1-IJ7125 X Taiwan A46) e o G05 (família1-IJ7125 X Taiwan A46) foram os genótipos que mantiveram a produção de matéria seca mais estável durante todos os períodos de avaliação. Mesmo com mudanças ambientais, esses genótipos foram capazes de manter estável a produtividade de matéria seca, apesar do G02 (família1-IJ7125 X Taiwan A46) ser considerado de baixa produtividade. Outros que também se mostraram com uma boa estabilidade foram os genótipos G09 (família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim), G11 (família 3- IJ7125 X Cuba 116), e o G16 (família 3- IJ7125 X Cuba 116), que estão localizados próximo ao eixo médio (Figura 8).

Os genótipos que apresentaram maior instabilidade, genótipos sujeitos a alteração de comportamento entre ambientes, foram o G04 (família1-IJ7125 X Taiwan A46), G06 (família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim) e G19 (família 4-IJ7125 X Mineirão IPEACO), apesar de instáveis foram mais produtivos no primeiro corte, e os genótipos G05 (família1-IJ7125 X Taiwan A46) e G12 (família 3- IJ7125 X Cuba 116), que apesar de serem considerados instáveis foram os genótipos mais responsivos no segundo corte de avaliação (Figura 8). Estes

genótipos não conseguiram se manter produtivos durante os quatro cortes de avaliação, podendo esta instabilidade ser atribuída a sua baixa tolerância a variação a fatores ambientais como chuvas, temperatura, luminosidade, fertilidade do solo, ataque de pragas e doenças causando diferença de produção nos diferentes cortes.

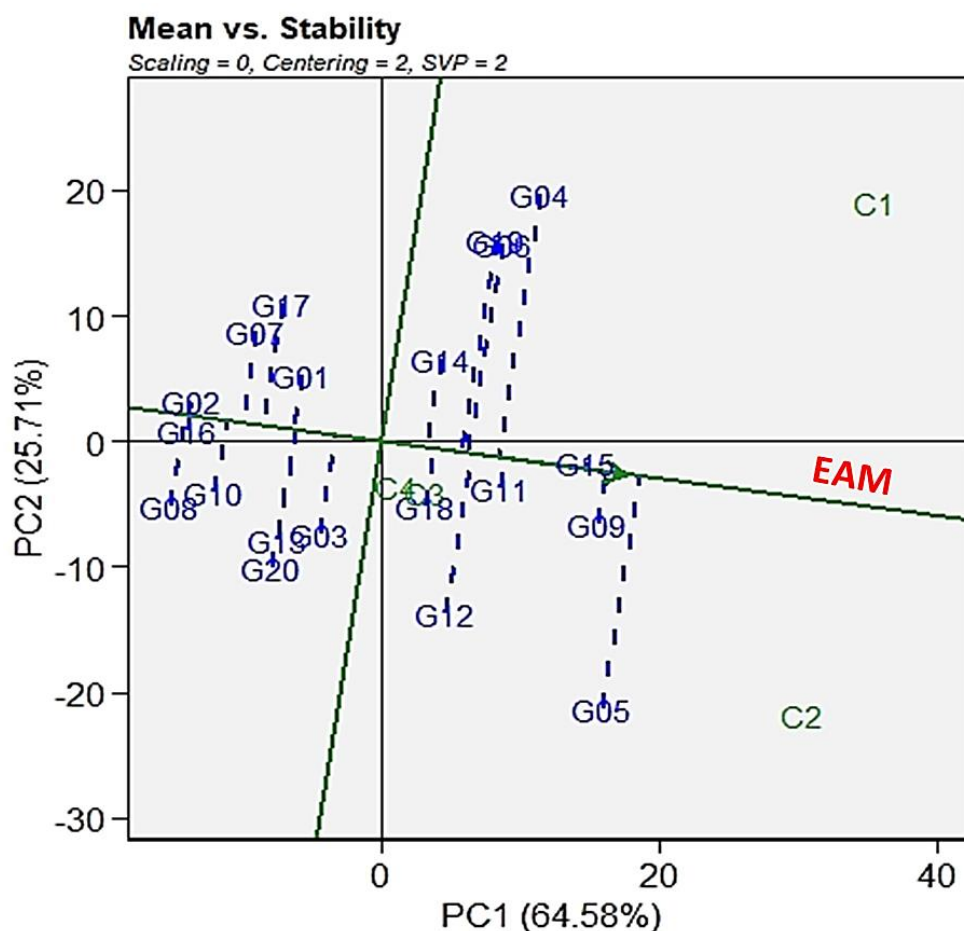


Figura 8. Biplot “Means vs. Stabilities” apresentando o desempenho médio dos genótipos ao longo do eixo EAM (Eixo ambiente médio);, indicado pela seta e a estabilidade dos genótipos de acordo com o comprimento do vetor que parte do genótipo ao eixo EAM, Menor vetor = maior estabilidade; EAM (Eixo ambiente médio); Genótipos: G01, G02, G03, G04, G05 (família-1 IJ7125 X Taiwan A46), G06, G07, G08, G09, G10 (família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim), G11, G12, G13, G14, G15 (família 3- IJ7125 X Cuba 116), G16, G17, G18, G19, G20 família 4-IJ7125 X Mineirão IPEACO). Cortes C1 (10 meses), C2 (8 meses), C3 (8 meses), C4 (9 meses). PC1: componente principal 1; PC2: componente principal 2, UENF, Campos dos Goytacazes, 2021.

Na Figura 9 (Biplot “Discriminativeness vs. representativeness”) mostra a capacidade de discriminação e representatividade dos ambientes de teste (cortes), indicando assim aquele ambiente (corte) que apresente uma média representativa em relação aos demais, ambiente que contém valores dos fatores controláveis e não controláveis dentro de um intervalo médio entre todos os demais ambientes. Os ambientes que apresentam vetores curtos são menos discriminantes, o que significa que todos os genótipos tendem a executar de forma semelhante, pouca ou nenhuma informação sobre as diferenças genóticas que podem ser reveladas em um dado ambiente, e, portanto, não devem ser utilizados como (representativos da média dos ambientes). Os ambientes que formam os menores ângulos com EAM, são ambientes mais representativos (Hongyu et al, 2015.).

O ambiente com maior vetor é o ambiente 1 (corte 1), sendo este o ambiente mais discriminante e o ambiente com menor ângulo é o 2 (corte 2), os dois cortes podem ser considerados mais discriminantes e mais representativos para os genótipos avaliados. Os ambientes (Cortes 2 e 3) não são representativos, pois possuem vetores curtos, não sendo possível selecionar genótipos com esses dois cortes, para uma melhor avaliação seriam necessários uma maior quantidade de ambientes (cortes) nesta situação (Figura 9).

Durante a seleção deve-se levar em consideração o intervalo entre cortes e o período anual de permanência no campo, ou seja, condições ambientais predominantes durante cada estágio de desenvolvimento das plantas, podendo isso influenciar no resultado no momento da seleção. Para se ter maior segurança na escolha dos genótipos superiores ou ambientes que se sejam discriminantes, é necessário um maior período de avaliação, neste caso, um maior número de cortes (Menezes et al., 2014).

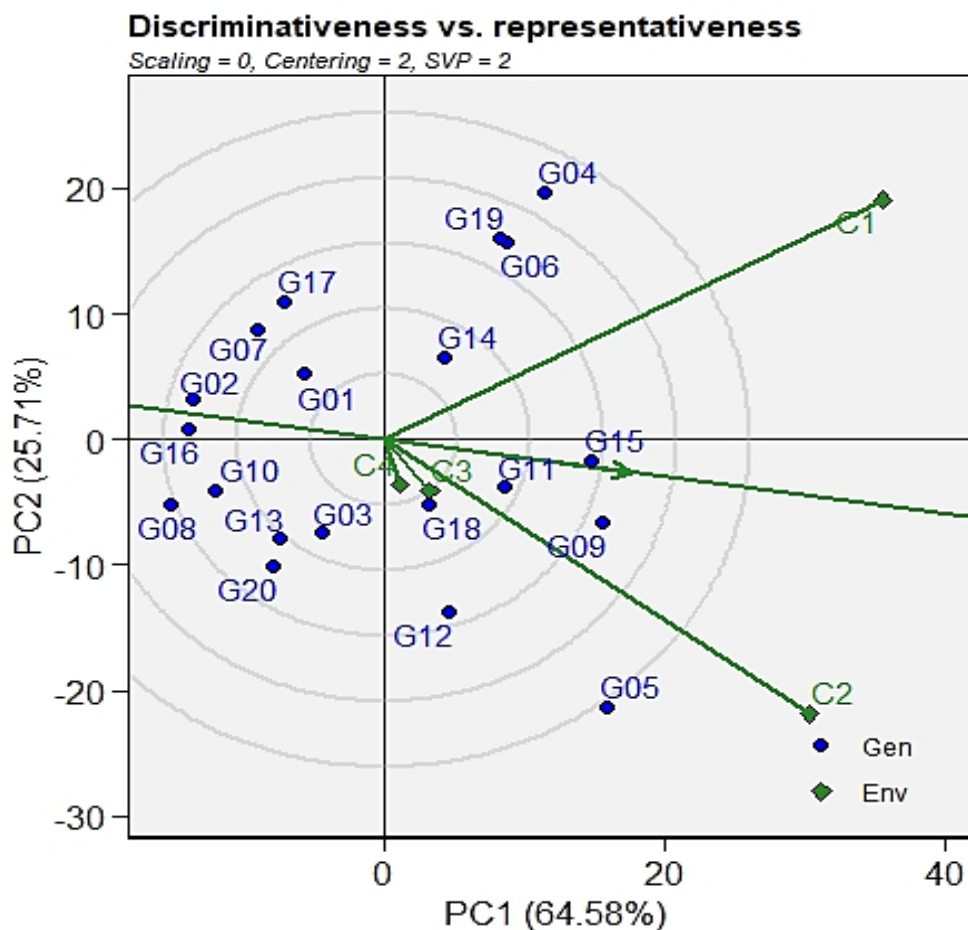


Figura 9. Biplot “Discriminativeness vs. representativeness” apresentando a visualização vetorial dos ambientes. Maior vetor ambiente = maior discriminação; Genótipos: G01, G02, G03, G04, G05 (família-1 IJ7125 X Taiwan A46), G06, G07, G08, G09, G10 (família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim), G11, G12, G13, G14, G15 (família 3- IJ7125 X Cuba 116), G16, G17, G18, G19, G20 família 4-IJ7125 X Mineirão IPEACO). Cortes C1 (10 meses), C2 (8 meses), C3 (8 meses), C4 (9 meses). PC1: componente principal 1; PC2: componente principal 2, UENF, Campos dos Goytacazes, 2021.

Os genótipos que estão localizados mais perto do centro dos círculos concêntricos são os mais desejáveis e podem apresentar maior sucesso comercial, no caso, os genótipos mais adaptados e estáveis foram G09 (família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim) e G15 (família 3- IJ7125 X Cuba 116) (Figura 10). Não necessariamente, os genótipos mais produtivos serão os mais adaptáveis e estáveis para todos os ambientes. Os genótipos que foram considerados ideais para a produção de matéria seca (PMS), não necessariamente são os que apresentaram maior produção de matéria seca nos cortes, e sim aqueles que se mantiveram constantes em todos os ambientes (Cortes). Gravina et al. (2020) por

meio da avaliação de algumas características de genótipos de capim-elefante como, número de perfilhos, altura da planta, massa seca, entre outras, conseguiram selecionar dois genótipos assim como neste estudo, utilizando do método biplot.

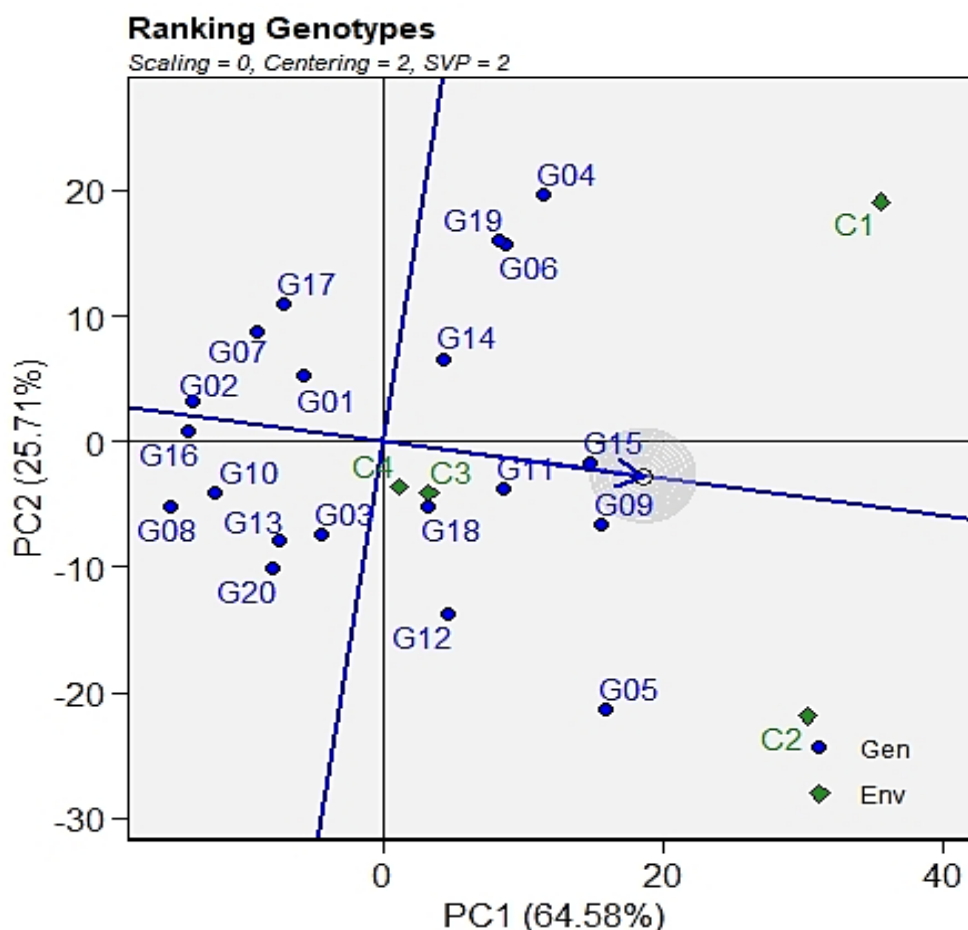


Figura 10. Biplot “Ranking Genotypes” comparando os genótipos avaliados com a estimativa de um “genótipo ideal”. Genótipos: G01, G02, G03, G04, G05 (família-1 IJ7125 X Taiwan A46), G06, G07, G08, G09, G10 (família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim), G11, G12, G13, G14, G15 (família 3- IJ7125 X Cuba 116), G16, G17, G18, G19, G20 família 4-IJ7125 X Mineirão IPEACO). Cortes C1 (10 meses), C2 (8 meses), C3 (9 meses), C4 (8 meses). PC1: componente principal 1; PC2: componente principal 2, UENF, Campos dos Goytacazes, 2021.

Yildirim et. al (2018) utilizaram a análise GGE-Biplot para avaliar genótipos de trigo em diferentes épocas, com semeadura precoce (ambiente frio) e tardia (ambiente quente), com duas condições de irrigação de sequeiro e irrigado. Os autores observaram que a condição de estresse hídrico influenciou negativamente o rendimento de grãos e os parâmetros de qualidade de todos os genótipos de trigo

testados. Os caracteres peso do grão, proteína de grão, amido de grão, índice de glúten, teor de farinha de grãos de dezesseis genótipos de trigo, foram significativamente influenciados pelo efeito adverso da alta temperatura em combinação com o estresse da seca, mostrando que GGE-Biplot foi um método adequado para analisar a interação entre a qualidade do trigo e os genótipos em diferentes condições de ambientes (Yildirim et. al 2018).

Avaliando variedades de feijão-caupi, na região Nordeste do estado do Rio de Janeiro, Cruz et al. (2020) consideram que o método GGE-Biplot foi eficiente na identificação de variedades superiores, podendo recomendar seu uso para região Nordeste do Estado do Rio de Janeiro.

Ansarifard et. al (2020) estudando híbridos de girassol por meio da estatística GGE-Biplot com objetivo de identificar cultivares mais estáveis e adaptáveis em cinco locais diferentes conseguiram selecionar os genótipos com maior rendimento de grãos e os melhores ambientes.

Também Naroui Rad e Bakhshi (2020) avaliaram frutos de mamão, quanto à resposta em relação a irrigação, em busca de verificar o desempenho dos genótipos, por meio da mudança na estabilidade do peso do fruto. Os autores consideraram que o método GGE-Biplot constitui boa ferramenta na identificação genótipos estáveis e indicaram seu uso na seleção de híbridos e mega-ambientes, que podem ser usados em zonas áridas para aumentar a produção.

O método GGE-Biplot é uma ferramenta estatística robusta que facilita o processo de seleção de genótipos no programa de melhoramento de capim-elefante para fins bioenergéticos. Embora ainda sejam escassos os trabalhos usando este método, ele se mostrou robusto e pode ser usado na seleção de genótipos estáveis e indicação de ambientes representativos.

6. CONCLUSÕES

A abordagem GGE-Biplot é adequada e eficiente para seleção de genótipos superiores em termos de produtividade de matéria seca (t/ha);

Os genótipos mais estáveis e amplamente adaptados foram os genótipos G15 (família 3- IJ7125 X Cuba 116), G9 (família 2-IJ7125 X Elefante Cachoeiro de Itapemirim);

Os cortes C1 (10 meses) e C2 (8 meses), foram os ambientes mais indicados para uso na seleção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afféri, F.S., Dotto, M.A., Carvalho, E.V.; Peluzio, J.M., Faria, L.A. (2020) Avaliação de genótipos de milho: adaptabilidade, estabilidade e estratificação ambiental. *Revista Sítio Novo*, Palmas. 4(2):81-92.
- Alcântara, P.B., Bufarah, G. (1983) Plantas forrageiras: gramíneas e leguminosas. São Paulo, Editora Nobel., 2ª ed., 150p.
- Allard, R.W., Bradshaw, A.D. (1964). Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. *Crop science*, 4(5): 503-508.
- Amabile, R.F., Vilela, M.S., Peixoto, J.R. (2018) *Melhoramento de Plantas cultivadas: Variabilidade genética, ferramenta e mercado*. Braasília 95p.
- Ansarifard, I., Mostafavi, K., Khosroshahli, M., Bihamta, M.R., Ramshini, H. (2020) A study on genotype–environment interaction based on GGE biplot graphical method in sunflower genotypes (*Helianthus annuus* L.). *Food Science & Nutrition*, 8:3327-3334.
- Barbé, T. C. da (2012) Variação de caracteres morfoagronômicos, fisiológicos e da qualidade da biomassa energética de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) em função da idade da planta, (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense-UENF, 140p.

- Borém, A., Miranda, G. V., Fritsche-Neto, R. (2017) *Melhoramento de Planta*. 7.ed. 543p.
- Cargnelutti Filho, A., Guadagnin, J.P. (2018) Sufficient number of experiments for the adaptability and stability analyses of maize using the Eberhart and Russell method. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53(6):673-683.
- Carvalho, C. G. P., Arias, C. A. A., de Toledo, J. F. F., de Almeida, L. A., de Souza Kiihl, R. A., Oliveira, M. F. (2002). Interação genótipo x ambiente no desempenho produtivo da soja no Paraná. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(7): 989-100.
- Cassaro, S. (2018). Seleção de híbridos de capim-elefante para fins energéticos utilizando modelos mistos. Dissertação (Mestrado em genética e melhoramento de plantas) – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 67p.
- Chaves, L. J. (2001) Interação de genótipos com ambientes. In: Nass, L.L.; Valois, A.C.C.; Melo, I.S. de; Valadares-Ingliš, M.C. (Ed.). Recursos genéticos e melhoramento – plantas. Rondonópolis: Fundação MT, p.673-713.
- Chemisquy, M. A., L. M. Giussani, M. A. Scataglini, E. A. Kellogg & O. Morrone. (2010). Phylogenetic studies favour the unification of Pennisetum, Cenchrus and Odontelytrum (Poaceae): a combined nuclear, plastid and morphological analysis, and nomenclatural combinations in Cenchrus. *Ann. Bot. (Oxford)*, n.s. 106: 107–130.
- Cruz C.D, Carneiro P.C.S. (2003) Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético II. Viçosa, Ed. UFV. 585p
- Cruz, C. D., Regazzi, A.J., Carneiro, P.C.S. (2012) Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. v.1. 4.ed. Viçosa, MG. Ed. UFV. 514 p.
- Cruz, C.D. (2013). GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*, 35(3)271-276.
- Cruz, D. P., Gravina G.A., Vivas, M., Entringer, G.C., Rocha, R. S., Jaeggi, M.E. P.C., Gravina, L. M., Pereira, I.M., Amaral Junior, A. T, Moraes, R., Oliveira,

- T.R.A., Daher, R. F. (2020) Análise da adaptabilidade fenotípica e estabilidade de cepas de feijão-caupi por meio da abordagem GGE Biplot. *Euphytica*, 216(160).
- Cunha Dias, F.T.; Pitombeira, J.B.; Teófilo, E.M.; Barbosa, F.S. (2009) Adaptabilidade e estabilidade fenotípica para o caráter rendimento de grãos em cultivares de soja para o Estado do Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, 40(1):129-134.
- Cunha, R.C.V. (2012). Análise de estabilidade da produção forrageira de genótipos de capim-elefante avaliados em Campos dos Goytacazes-RJ. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 46p.
- Daher, R.F., Souza, L.B., Gravina, G.A., Machado, J. C., Ramos, H.C., Silva, V.Q., Gottardo, R.D. (2014). Use of elephant grass for energy production in Campos dos Goytacazes-RJ, Brazil. *Genetics and molecular research: GMR*,13(4):10898.
- Dehghani, H., Ebadi, A., Yousefi, A. (2006) Biplot analysis of genotype by environment interaction for barley yield in Iran. *Agronomy Journal*, 98(2):388-393.
- Dehghani, H., Ebadi-Segherloo, A. (2006) Biplot Analysis of Genotype by Environment Interaction for Barley Yield in Iran. *Agronomy Journal* 98(2):388-393.
- Deresz, F. (1999) Utilização do capim-elefante sob pastejo rotativo para produção de leite e carne. Juiz de Fora, Embrapa-CNPGL, 29p.
- Eberhart, S.A.; Russel, W.A. (1966) Stability parameters for comparing varieties. *Crop science*, 6(1):36-40.
- Ferreira, D.F., Demérito, C.G.B., Manly, B.R.J., Machado, A.A., Vencovsky, R. (2006) Statistical models in agriculture: biometrical methods for evaluating phenotypic stability in plant breeding. *Cerne*, Lavras, 12 (4): 373- 388.

- Fonseca, J.S.; Martins, G.A. (1996). Curso de estatística. 6.ed. São Paulo: Atlas, 320p.
- Freitas, R.S., Barbé, T.C., Daher, R.F., Vidal, A.K.F., Stida, W.S., da Silva, V.B., Menezes, B.R. da S., Pereira, A.V. (2018). Chemical Composition and Energy Yield of Elephant-Grass Biomass as Function of Five Different Production Ages. *Journal of Agricultural Science*; Vol. 10, No. 1.
- Gabriel, K.R. (1971) The biplot graphic display of matrices with application to principal componente analysis. *Biometrika*, 58(3)453-467.
- Garbuglio, D.D., Gerage, A.C., Araújo, P.M., Fonseca Junior, N.S., Shioga, P.S. (2007). Análise de fatores e regressão bissegmentada em estudos de estratificação ambiental e adaptabilidade em milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42 (2): 183-191.
- Gauch H.G.; Piepho H.P.; Annicchiarico P. (2008): Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. *Crop Science*. 48:866–889.
- Gauch, H.G.; Zobel, R.W. AMMI analysis of yield trials. In: Kang, M.S.; Gauch, H.G. (Ed.).(1996) Genotype by environment interaction. Boca Raton: CRC Press,.4:85-122.
- Gravina, L.M., Oliveira, T.R.A., Daher, R.F., Gravina, G.A., Vidal, A.K. F., Stida, W.F., Cruz, D.P., Rocha, C.Q.S.S., Rocha, R.S.; Pereira, A.V.; Oliveira, G.H.F. (2020) Multivariate analysis in the selection of elephant grass genotypes for biomass production. *Renewable Energy*,160:1265-1268.
- GUTIÉRREZ, H.F. The American species of the genus *Cenchrus* s.l. (Poaceae, Panicoideae, Paniceae). *Darwiniana*, nueva serie 3(1): 114-200, 2015.
- Hongyu, K.; Silva, F.L.; Oliveira, A.C.S.; Sarti, D.A. Araújo, L.B.; Dias, C.T.S. (2015) Comparação entre os modelos ammi e gge biplot para os dados de ensaios multi-ambientais. *Revista Brasileira de Biometria*., São Paulo, 33(2):139-155.
- Jalata, Z., (2011) GGE-biplot Analysis of Multi-environment Yield Trials of Cevada (*Hordeium vulgare* L.) Genotypes in Southeastern Ethiopia Highlands. *International Journal of Plant Breeding and Genetics*, 5: 59-75.

- Kang, M.S. (1998). Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. *Advances in agronomy*, 62: 199-252.
- Lemus, R., Brummer, E.C., Moore, K.J., Molstad, N.E., Burras, C.L., Barker, M.F. (2002) Biomass yield and quality of 20 switchgrass populations in Southern Iowa, USA. *Biomass & Bioenergy*, 23:433-442.
- Lima, R.S., Daher, R.F., Goncalves, L.S., Rossi, D.A., do Amaral Júnior, A.T., Pereira, M.G., Lédo, F. J. S. (2011) RAPD and ISSR markers in the evaluation of genetic divergence among accessions of elephant grass. *Genetics Molecular Research*, 10:1304-1313.
- Lopes, B. A. (2004) O Capim-elefante. Seminário apresentado à disciplina ZOO 645 (Métodos nutricionais e alimentação de ruminantes). Universidade Federal de Viçosa - Centro de Ciências Agrárias /Departamento de Zootecnia). Viçosa.
- Marafon, A.C., Santiago, A. D., Amaral, A.F.C.; Bierhals, A.N.; Paiva, H.L.; Guimarães, V.S. Poder calorífico do capim-elefante para a geração de energia térmica. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016. 28 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 115).
- Marafon, A.C., Santiago, A.D., Machado, J.C., Guimarães, V.S. Produção de biomassa em gramíneas tropicais com potencial energético. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2017. 19 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 132).
- Menezes, B.R.S., Daher, R.F., Gravina, G.A., Amaral Júnior, A.T., Oliveira, A.V.; Schneider, L.S.A.; Silva, V.B. (2014) Correlações e análise de trilha em capim-elefante para fins energéticos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 9(3): 465-470.
- Mohallem, D.F., Tavares, M., Silva, P.L., Guimarães, E.C., Freitas, R.F. (2008) Avaliação do coeficiente de variação como medida da precisão em experimentos com frangos de corte. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 60(2):449-453.
- Mohammadi, R., Amri, A. (2009) Analysis of genotype x environment interactions for grain yield in durum wheat. *Crop Science*, 49(4):1177-1186.

- Morais, R.F., Souza, B.J.D., Leite, J M., Soares, L.H.D.B., Alves, B.J.R., Boddey, R.M., Urquiaga, S. (2009). Elephant grass genotypes for bioenergy production by direct biomass combustion. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44 (2): 133-140.
- Naroui Rad, M.R., Bakhshi, B. (2020) GGE biplot tool to identify melon fruit weight stability under different drought stress conditions. *International Journal of Vegetable Science*. DOI: 10.1080 / 19315260.2020.1805538
- Novo, A.A., Daher, R.F., Costa, E.S., Gravina, G. de A., Ogliari, J. (2016) Situação Energética no Estado do Rio de Janeiro e o Capim-Elefante como Fonte Renovável. *VÉRTICES*, Campos dos Goytacazes/RJ, 18(3):107-121.
- Oliveira, A. V. (2013) Avaliação do desenvolvimento e de características morfoagronômicas e qualidade de Biomassa energética de 73 genótipos de capim-elefante em Campos dos Goytacazes-RJ. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 76p.
- Oliveira, M. L. F., Daher, R. F., Gravina, G. D. A., da Silva, V. B., Viana, A. P., Rodrigues, E. V., Rocha, A. D. S. (2014). Pre-breeding of elephant grass for energy purposes and biomass analysis in Campos dos Goytacazes-RJ, *Brazil. African Journal of Agricultural Research*, 9(36):2743-2758.
- Osava, M. (2007). *Capim elefante, novo campeão em biomassa no Brasil*. Agrosoft Brasil, 549-602.
- Pereira, A. V., Sobrinho, F.S., Souza, F.H.D. de., Ledo, F.J.S. (2003) Tendências Do Melhoramento Genético E Produção De Sementes De Forrageiras No Brasil. *In: Simpósio Sobre Atualização em Genética e Melhoramento de Plantas*. p. 36–63.
- Pereira, A.V. (1994) Germoplasma e diversidade genética do capim-elefante. In: *Simpósio sobre capim-elefante, 2, Juiz de Fora. Anais...* Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL. p.1-11.

- Pereira, A.V., Léo, F.J.S., Shimoya, A., Techio, V.H. (2008) Melhoramento genético de *Pennisetum purpureum*. In Resende RMS, Valle CB and Jank L (eds) Melhoramento de forrageiras tropicais. Campo Grande, Embrapa: 89-116.
- Pereira, A.V., Valle, C.B., Ferreira, R.P., Miles, J.W. (2001) Melhoramento de forrageiras tropicais. In: Nass, L.L., Valois, A.C.C.; Melo, I.S., Valadares-Ingliš, M.C. Recursos genéticos e melhoramento de plantas. Rondonópolis: Fundação Mato Grosso, 1183p.
- Pereira, T.C.G. (2014) *Energias renováveis: políticas públicas e planejamento energético*. Edição Digital, Curitiba: COPEL, 303p.
- Phuke, R.M., Anuradha, K., Radhika, K., Jabeen, F., Anuradha, G., Ramesh, T., Hariprasanna K., Mehtre, S.P., Deshpande, S.P., Anil, G., Das, R.R., Rathore, A., Hash, T.; Reddy, B.V.S.; Kumar, A. (2017) Genetic Variability, Genotype × Environment Interaction, Correlation, and GGE Biplot Analysis for Grain Iron and Zinc Concentration and Other Agronomic Traits in RIL Population of Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Frontiers in Plant Science*, 8. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00712>
- Quéno, L.R.M. (2009) Viabilidade econômica da produção de biomassa de eucalipto e capim-elefante para energia. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Floresta) - Programa de Pós-Graduação da Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, Brasília.
- Quesada, D.M. (2001) Seleção de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para a alta produção de biomassa e eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN). 140 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.
- Quesada, D.M., Boddey, R.M., Reis, V.M., Urquiaga, S. (2004) Parâmetros qualitativos de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) estudados para a produção de energia através da biomassa. Circular Técnica 8, Seropédica, RJ.

- Raizer, A.J., Vencovsky, R. (1999) Estabilidade fenotípica de novas variedades de cana-de-açúcar para o estado de São Paulo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34: 2241-2246.
- Ramalho, M.A.P., Abreu, A.D.F., Santos, J.D., Nunes, J.A.R. (2012) Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas. 1 ed. Lavras, Editora UFLA, 522p.
- Rocha, A. S., Daher, R. E. F., Gravina, G. A., Pereira, A. V., Rodrigues, E. V. O., Viana, A. P., Oliveira, E. S. (2015) Comparison of stability methods in elephantgrass genotypes for energy purposes. *African Journal of Agricultural Research*, 10 (47):4283-4294.
- Rocha, A.S., Daher, R.F., Gravina, G.A., Pereira, A.V., Rodrigues, E.V., Viana A.P., Oliveira E.S. (2015) Comparison of stability methods in elephant-grass genotypes for energy purposes. *African Journal of Agricultural Research* 10: 4283-4294.
- Rocha, E.P.A., Souza, D.F., Damasceno, S.M. (2009) Estudo da viabilidade da utilização de briquete de capim como fonte alternativa de energia para queima em alto-forno. VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação científica. Uberlândia, MG.
- Rocha, M.M. (2002) Seleção de linhagens experimentais de soja para adaptabilidade e estabilidade fenotípica. 173f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Curso de Pós-graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- Rodrigues, E.V.; Daher, R.F.; Santos, A.; Vivas, M.; Machado, J. C.; Gravina, G. A.; Souza, Y. P.; Vidal, A. K. F.; Avelino, Dos Santos Rocha; Freitas, R. S. (2017) Selecting elephant grass families and progenies to produce bioenergy through mixed models (REML/BLUP). *Genetics and Molecular Research*, 16:2-12.
- Rodrigues, L.R.A., Monteiro, F.A., Rodrigues, T.J.D. (2001) Capim Elefante. In: Peixoto, A.M., Pedreira, C.G.S., Moura, J.V., Faria, V.P. (Eds.) Simpósio sobre manejo da pastagem, 17, Piracicaba, 2001. 2ª edição. *Anais...* Piracicaba: FEALQ: 203-224.

- Rosillo-Calle, F.; Bajay, S. V.; Rothman, H. (2005) Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira. Campinas: Editora da UNICAMP.
- Rossi, D. A., Menezes, B.D.S., Daher, R.F., Gravina, G.D.A., de Lima, R.S.N., Léo, F.D.S., e de Souza, C. L. M. (2014). Canonical correlations in elephant grass for energy purposes. *African Journal of Biotechnology*, 13(36): 3666-367.
- Rossi, D.A., Menezes, B.R.S., Daher, R.F., Gravina, G.A., de Lima, R. N., Léo, F. J.S., Souza, C. L. M. (2014). Canonical correlations in elephant grass for energy purposes. *African Journal of Biotechnology*, 13(36).
- Samson, R., Mani, S., Boddey, R.M.; Sokhansanj, S., Quesada, D.M., Urquiaga, S.; Reis, V., Lem, C.H. (2005) The potential of C4 perennial grasses for developing a global bioheat industry. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24:461-495.
- Santos, A., Amaral Júnior, A.T., Kurosawa, R.N.F., Gerhardt, I.F.S., Fritsche Neto, R. (2017) GGE Biplot projection in discriminating the efficiency of popcorn lines to use nitrogen *Ciência e Agrotecnologia* 41(1):22-31.
- Santos, A., Ceccon, G., Teodoro, P.E., Correa, A.M., Alvarez, R.C. F., Silva, J.F., Alves, V.B. (2016) Adaptability and stability of erect cowpea genotypes via REML/BLUP and GGE-Biplot. *Bragantia*, São Paulo, 75 (3): 299-306.
- Santos, A.D.; Amaral Júnior, A.T.D.; Kurosawa, R.D.N.F.; Gerhardt, I.F.S.; Fritsche Neto, R. (2017) GGE Biplot projection in discriminating the efficiency of popcorn lines to use nitrogen. *Ciência e Agrotecnologia*, 41(1):22-31.
- Santos, M.M.P., Daher, R. F., Ponciano, N.J., Gravina, G.A., Pereira, A.V., e Santos, C.L. (2014) Respostas do capim-elefante sob doses de adubação azotada de cobertura para fins energéticos. *Revista de Ciências Agrárias*, 37(1):100-108.
- Schneider, L.S.A. (2013) Avaliação morfoagronômica, adaptabilidade e estabilidade da produção de forrageira de capim-elefante. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 72p.

- Silva, D.J., Queiróz, A.C. (2002) *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. 3. ed. Viçosa. 235p.
- Silva, R.R, Benin, G. (2012) *Análises Biplot: conceitos, interpretações e aplicações*. *Ciência Rural*, Santa Maria,42(8):1404-1412.
- Silva, V.B., Daher, R.F., Araújo, M. S.B., Souza, Y.P., Cassaro, S., Menezes, B.R. S., Gravina, L. M., Novo, A.A.C., Tardin, F. D., Amaral Júnior, A.T. (2017) Prediction of genetic gains by selection indices using mixed models in elephant grass for energy purposes. *Genetics and Molecular Research* 16 (3): gmr16039781. DOI <http://dx.doi.org/10.4238/gmr16039781>
- Silva, V.B., Daher, R.F., Souza, Y.P., Menezes, R.B.S., Santos, E.A., Freitas, R.S., Oliveira, E.S; Stida, W.F.; Cassaro, S. (2020) Assessment of energy production in full-sibling families of elephant grass by mixed models. *renewable energy*. 146:744-749.
- Silva, V.Q.R., Damer, R.F., Gravina, G.A., da Silva Ledo, F.J., Tardin, F. D., & de Souza, M.C. (2014) Capacidade combinatória de capim-elefante com base em caracteres morfoagronômicos. *Boletim de Indústria Animal*, 71(1), 63-70.
- Sousa, L. B., Daher, R. F.; Menezes, B. R. S.; Rodrigues, E. V., Tardin, F. D.; Gravina, G. A., Pereira, A. V. (2016) Qualidade da biomassa em híbridos de capim-elefante para fins energéticos. *Agrária* (Recife. Online), 11: 85-91.
- Souza, P.S. (2017) *Adaptabilidade e estabilidade de híbridos pré-comerciais de milho (obtenção do título de Engenheira Agrônoma.) –Dourados- Mato Grosso Do Sul, Universidade Federal da Grande Dourados, 38p.*
- Squilassi, M.G (2003) *Interação de genótipos com ambientes*. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 47p.
- Tcacenco, F.A., Botrel, M.A. (1997) Identificação e avaliação de acessos e cultivares de capim-elefante. In: CARVALHO, M.M., ALVIN, M.J., XAVIER, D.F., et al. (Eds) *Capim elefante: produção e utilização*. 2ª ed., revisada. Brasília:Embrapa-SPI e Juiz de Fora:Embrapa-Gado de Leite :1- 30.

- Urquiaga, S., Alves, B.J.R., Boddey, R.M. (2006) Capim-elefante: uma fonte alternativa promissora para a produção de energia.
- Veiga, J.B., Camarão, A.P. (1984) Produção forrageira e composição química de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum) vars. Anão e Cameroon:1-6. EMBRAPA. Comunicado Técnico n. 54.
- Vidal, A.K.F. (2018). Capacidade combinatória em capim-elefante por meio de dialelo circulante para produção de biomassa energética. Dissertação (Mestrado em genética e melhoramento de plantas) – Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 71p.
- Yan, W. (2011) GGE biplot vs. AMMI graphs for genotype-by-environment data analysis. *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics*, 65(2):181-193.
- Yan, W. e Holland, JB (2010). Um biplot GGE ajustado por herdabilidade para avaliação do ambiente de teste. *Euphytica* 171, 355–369. doi: 10.1007 / s10681-009-0030-5
- Yan, W. e N.A Tinker, 2006. Análise biplot de dados de teste em vários ambientes: Princípios e aplicações. *Lata.J. Plant Sei.*, 86: 623-645.
- Yan, W., HOLLAND, J.B. (2010) A heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation. *Euphytica*,171(3)355- 369.
- Yan, W., Hunt, L.A. Sheng, Q., Szlavnicz Z. (2000) Avaliação de cultivares e investigação de megaambientes com base no GGE biplot. *Crop Science*, Madison, 40(3):597-605.
- Yan, W.; Kang, M.S. GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. Flórida: Boca Raton, 2003. 286p
- Yan, W.K.; Rajcan, I. (2002) Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*, 42(1):11-20.
- Yang, R.C., Crossa, J.; Cornelius, P.L., Burgueño, J. (2009) Biplot analysis of genotype x environment interaction: proceed with caution. *Crop Science*, 49:1564-1576.

Yildirim, M., Barutcular, C., Koc, M., Dizlek, H., Hossain, A., Slaml, M. S., Toptas, I., Basdemir, F., Albayrak, O., Akinci, C., El Sabagh A. (2018) Assessment of the grain quality of wheat genotypes grown under multiple environments using gge biplot analysis. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27 (7):4830-4837.