

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS AGROPECUÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
LABORATÓRIO DE ZOOTECNIA

**AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E DEPOSIÇÃO DE NUTRIENTES DAS
CULTURAS DO MILHO, MILHETO E SORGO**

Mestrando: Paulo Henrique Borgati Chrisostomo

Orientador: Prof. Dr. Tadeu Silva de Oliveira

Campos dos Goytacazes-RJ

Fevereiro - 2021

PAULO HENRIQUE BORGATI CHRISOSTOMO

**AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E DEPOSIÇÃO DE NUTRIENTES DAS
CULTURAS DO MILHO, MILHETO E SORGO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência Animal

Mestrando: Paulo Henrique Borgati Chrisostomo

Orientador: Prof. Dr. Tadeu Silva de Oliveira

Campos dos Goytacazes-RJ

Fevereiro – 2021.

FICHA CATALOGRÁFICA
UENF - Bibliotecas
Elaborada com os dados fornecidos pelo autor.

C554

Chrisostomo, Paulo Henrique Borgati.

Avaliação do crescimento e deposição de nutrientes das culturas do milho, milheto e sorgo. / Paulo Henrique Borgati Chrisostomo. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2021.

50 f. : il. Bibliografia:
40 - 50.

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

Orientador: Tadeu Silva de Oliveira.

1. Crescimento de plantas. 2. Deposição de nutrientes. 3. Modelos. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 636

AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E DEPOSIÇÃO DE NUTRIENTES DAS CULTURAS DO MILHO, MILHETO E SORGO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência Animal

Aprovada em 04 de Fevereiro de 2021

Comissão Examinadora:

Prof. Alberto Magno Fernandes (Doutor, Zootecnia) – UENF

Dra. Elizabeth Fonseca Processi (Doutora, Zootecnia) -
UFRRJ

Prof. Leonardo Siqueira Glória (Doutor, Genética e Melhoramento)
-UENF

Prof. Tadeu Silva de Oliveira (Doutor, Zootecnia) -
UENF (Orientador)

DEDICATÓRIA

Dedico o tão sonhado título de Mestre primeiramente a Deus, pois sem as Suas bênçãos nada teria se concretizado;

Aos meus pais, Waldeir e Dora, que são meus verdadeiros exemplos de vida, que com muita luta e fé estão realizando mais um sonho de verem seus filhos conquistando suas metas e traçando seus caminhos;

Aos meus queridos e amados irmãos, Pedro Henrique, Luiz Paulo, Ana Paula e Mayza, à minha namorada, Renata, às minhas cunhadas Letícia e Laís, ao meu cunhado Vinícius, que sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos da minha vida, transmitindo muita força para que eu não desistisse desse sonho;

De modo especial, dedico esse trabalho à minha sobrinha e afilhada Olívia, que com poucos meses de vida, já nos mostrou o verdadeiro motivo da alegria de nossa família.

“Pois que se uniu a mim, eu o livrarei; e o protegerei”
(Salmo 90, versículo14)

AGRADECIMENTOS

Meu maior agradecimento é para Aquele que nunca me abandonou e sempre me conduziu para o caminho correto a ser seguido, Deus;

Agradeço à minha Mãe Nossa Senhora, que por milhares de vezes recorri à Sua intercessão e sempre fui atendido, e por ter me coberto com seu Manto protetor, fazendo que nenhum mal pudesse acontecer;

Aos meus pais, Waldeir Chrisostomo e Dora Borgati, que nunca mediram esforços para que essa vitória fosse alcançada e sempre estiveram ao meu lado em oração e pensamento. Diversas vezes o desânimo quis me vencer, mas vocês me ensinaram com seus exemplos a nunca desistir;

Aos meus irmãos, Pedro Henrique, Luiz Paulo, Ana Paula e Mayza, por serem tão solícitos quando mais precisei e por serem grandes exemplos de dedicação, perseverança, paciência, fé e amor;

À minha namorada Renata Vaillant, que sempre esteve ao meu lado com muito amor, companheirismo e dedicação. Obrigado meu amor, pela força e carinho de sempre!

À minha família que sempre torceu por mim e esteve presente na minha vida em todos os momentos, seja nas vitórias ou nas derrotas;

Jamais esquecendo da figura marcante dos meus avós que já não estão mais entre nós, mas que foram o alicerce da minha vida;

À família de minha namorada, em especial seus pais, Gilberto e Aparecida, seu irmão pelo carinho e apoio. Obrigado pela torcida e orações!

Ao meu orientador professor Tadeu Silva , sempre solícito e disposto a me auxiliar em todos as etapas desse trabalho, do campo ao laboratório. Obrigado pela dedicação, paciência e entusiasmo que sempre passou para mim nesses dois anos de convivência. Você transmite para os seus alunos a verdadeira essência da palavra professor. Que Deus continue te dando forças, para cumprir sua bela missão do magistério;

Ao meu coorientador, professor Alberto Magno Fernandes, que desde o momento ao qual decidi ingressar no mestrado, me apoiou e me auxiliou em todas as etapas do trabalho. Agradeço pela diligência e o interesse em nos dar suporte para que nossos objetivos fossem alcançados!

Aos membros da banca examinadora, Doutora Elizabeth Processi, Professor Leonardo Glória, com muito entusiasmo e solicitude, contribuíram de forma tão grandiosa para pesquisa e, contribuindo para minha formação pessoal e profissional;

Aos amigos e colegas da UFRRJ/CCG, em nome do diretor Doutor Jair Felipe Garcia Ramalho, do coordenador de pesquisa e ensino, Willian Pereira, do coordenador de

extensão, Giovani Leal, agradeço todo suporte e compreensão nesses dois anos de muito trabalho e estudo;

À minha segunda família nesses dois anos, NUPRO, nas pessoas da Michele, Danielle, Raiany, Ismael, Lilian, Sarah, Carol, Kissila, Luiza e Bruno, alguns de longas datas e outros mais recentes, cada um com sua contribuição para esse título. Obrigado pelas ajudas e empenho!

Agradeço à querida e renomada UENF, por ter me recebido de braços abertos e realizado meu sonho de me tornar Mestre em Ciência Animal.

Fica aqui o meu agradecimento vindo do coração, obrigado a todos!

“Tu, que habitas sob a proteção do Altíssimo, que moras à sombra do Onipotente, dize ao senhor: “Sois meu refúgio e minha cidadela, meu Deus, em que eu confio. ” (Salmo 90)”

RESUMO

BORGATI CHRISOSTOMO, Paulo Henrique. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Fevereiro de 2021. Avaliação do crescimento e deposição de nutrientes das culturas do milho, milheto e sorgo. Orientador: Professor Tadeu Silva de Oliveira.

O presente estudo teve a finalidade de avaliar o crescimento e variação nutricional do milho (*Zea Mays*), sorgo (*Sorghum bicolor L.*) e milheto (*Pennisetum glaucum L.*) para produção de silagem. Para caracterizar a deposição de nutrientes e avaliação agrônômica no milheto, milho e sorgo aos 30 dias após o plantio até o ponto de colheita para ensilagem, foram utilizados modelos lineares e não lineares. Esses modelos foram ajustados às variáveis registradas com e sem medidas repetidas. As variáveis sem medidas repetidas foram matéria seca (MS, g / kg), proteína bruta (PB, g / kg), cinzas (g / kg) e fibra em detergente neutro (FDN, g / kg). As variáveis agrônômicas registradas como dados longitudinais foram altura (cm), diâmetro (mm), comprimento (cm) e largura (cm). Não houve efeito de ano ($P>0,05$) sobre nenhuma das variáveis testadas. O modelo de melhor ajuste para os teores de nutrientes foi o modelo linear (MS [$y_i = \theta_0 + \theta_1 t_i$];), PB e MM [$y_i = \theta_0 + \theta_1 t_i + \theta_2 t_i^2$]). Entretanto, a fração fibrosa representada pela FDN teve melhor ajuste com o modelo de Wood (modelo não linear [$y_i = \theta_0 + \theta_1 t_i + \theta_2 t_i^2$]). Nas variáveis agrônômicas altura da planta e largura da folha tiveram melhor ajuste com o modelo linear ($y_i = \theta_0 + \theta_1 t_i + \theta_2 t_i^2$), já o diâmetro e o comprimento se ajustaram melhor no modelo de Wood (modelo não linear [$y_i = A \exp(-\lambda t_i)$]). As variáveis agrônômicas não diferiram estatisticamente ($P>0,05$) entre o milho, milheto e sorgo. As curvas dos modelos para o milho e sorgo se sobrepuseram em todas as variáveis analisadas. O acúmulo de matéria seca no milheto é menor em relação ao milho e sorgo, possivelmente devido aos processos adaptativos que previnem a desidratação excessiva. O milheto tem um ímpeto de crescimento em altura da planta maior que o milho e o sorgo. Todavia, tem menor comprimento e largura de folha em relação ao milho e sorgo.

Palavras-chave: Crescimento de plantas, deposição de nutrientes, modelos.

ABSTRACT

BORGATI CHRISOSTOMO, Paulo Henrique. Universidade estadual do norte Fluminense Darcy Ribeiro. February, 2021. Evaluation of growth and nutrient deposition of corn, millet and sorghum crops. Advisor: Prof Tadeu Silva de Oliveira.

The present study aimed to evaluate the growth and nutritional variation of corn (*Zea Mays*), sorghum (*Sorghum bicolor L.*) and pearl millet (*Pennisetum glaucum L.*) for silage production. To characterize the deposition of nutrients and agronomic evaluation in millet, corn and sorghum 30 days after planting to the point of harvest for silage, linear and non-linear models were used. These models were adjusted to the variables registered with and without repeated measures. The variables without repeated measures were dry matter (DM, g / kg), crude protein (CP, g / kg), ashes (g / kg) and neutral detergent fiber (NDF, g / kg). The agronomic variables recorded as longitudinal data were height (cm), diameter (mm), length (cm) and width (cm). There was no year effect ($P > 0.05$) on any of the variables tested. The best fit model for nutrient contents was the linear model (DM [$y_i = \theta_0 + \theta_1 t_i$];), CP and MM [$y_i = \theta_0 + \theta_1 t_i + \theta_2 t_i^2$]). However, the fibrous fraction represented by the NDF had a better fit with the Wood model (non-linear model [$y_i = \theta_0 + \theta_1 t_i + \theta_2 t_i^2$]). In the agronomic variables plant height and leaf width had a better fit with the linear model ($y_i = \theta_0 + \theta_1 t_i + \theta_2 t_i^2$), whereas the diameter and length were better adjusted in the Wood model (non-linear model [$y_i = A \exp(-\lambda t_i)$]). The agronomic variables did not differ statistically ($P > 0.05$) between corn, millet and sorghum. The model curves for corn and sorghum overlapped in all variables analyzed. The accumulation of dry matter in millet is lower in relation to corn and sorghum, possibly due to the adaptive processes that prevent excessive dehydration. Millet has a higher growth momentum than the corn and sorghum. However, it has less leaf length and width in relation to corn and sorghum.

Keywords: Plant growth, nutrient deposition, models.

SUMÁRIO

Sumário

1.0	INTRODUÇÃO	11
2.0	OBJETIVO	12
3.0	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	FISIOLOGIA DO CRESCIMENTO	13
3.2	SORGO, MILHO E MILHETO	15
3.2.1	SORGO.....	15
3.2.2	MILHO	16
3.2.3	MILHETO	18
3.3	MODELOS MATEMÁTICOS NA AGRICULTURA.....	20
4.0	MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1	Local e condição experimental	22
4.2	Plantio, manejo e delineamento experimental	23
4.3	Avaliações biométricas	24
4.4	Avaliação química.....	25
5.0	AJUSTE DO MODELO.....	26
6.0	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	27
7.0	RESULTADOS.....	28
8.0	DISCUSSÃO	37
9.0	CONCLUSÕES	41
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1.0 INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior produtor de carne no mundo, em 2019 produziu cerca de 10 milhões de toneladas. Deste, 1,9 milhões foram exportados com faturamento de U\$\$ 7,7 bilhões (ABIEC, 2020). Cerca de 90% dessa carne produzida é oriunda de bovinos terminados a pasto, entretanto, países de clima tropical como o Brasil têm duas estações bem definidas, verão chuvoso e o inverno seco. Durante o período de estiagem que varia nas diferentes regiões brasileiras (entre maio a setembro) a capacidade de crescimento e o vigor da gramínea são afetados, reduzindo a capacidade nutritiva do pasto. Esta restrição na qualidade do pasto pode resultar em redução de peso dos animais, queda na produtividade e na taxa de fertilidade do rebanho, além de aumentar a predisposição a doenças entre outros fatores que interferem na produção. Com isso, as práticas suplementares como a utilização de silagem permitem manter que o rebanho supere este período bem alimentado, saudável e produtivo, independente da duração e intensidade da estiagem (EUCLIDES et al., 2010).

Todavia, a mudança climática está causando alterações significativas nos ecossistemas terrestres. No Brasil, a alteração do ciclo hidrológico já está acontecendo, a tendência é que ocorram secas mais extremas e duradouras, intercaladas por períodos curtos e muito chuvosos. Porém, o agronegócio é uma atividade altamente dependente de fatores climáticos, por isso a mudança no clima pode afetar a produção agrícola. A distribuição irregular das chuvas deverá se intensificar e associadas ao aumento da temperatura, ocasionarão elevadas perdas na produtividade agrícola de diversas culturas. Em um futuro próximo, será inevitável a necessidade de cultivos em locais com constantes restrições ambientais (ARORA, 2019).

A cultura do milho tem maior prevalência na nutrição de ruminantes, o milho é o volumoso mais utilizado na produção de silagem pelo potencial produtivo e qualidade da silagem, além da tradição no cultivo, boa aceitação dos animais e possibilidade de automação de várias etapas na silagem (Borreani e Tabacco, 2010). O sorgo é outra cultura muito utilizada na produção de volumoso, principalmente na forma de silagem por apresentar alto teor de matéria seca quando comparado ao milho, principalmente nas regiões de média fertilidade do solo e em locais com ocorrências de estresse hídrico (Traore et al., 1989). Já o milheto é muito utilizado no Brasil como cobertura morta para o plantio direto no cultivo da soja. É uma cultura muito interessante devido a grande

resistência à seca; maior produção de massa; boa adaptação a diferentes níveis de fertilidade; sistema radicular profundo e abundante; resistência às pragas e doenças; facilidade de produção de sementes (Bidinger et al., 2009). Porém, é uma cultura pouco explorada na alimentação de ruminantes.

Neste contexto, é imprescindível conhecer a eficiência do crescimento e a adaptação das plantas a diferentes condições ambientais. Assim, a análise quantitativa do crescimento é o meio mais acessível e preciso para avaliar a performance de plantas e o que cada processo fisiológico contribui para potencializar seu desenvolvimento (Pedó et al., 2015).

2.0OBJETIVO

O objetivo com este estudo foi avaliar as medidas biométricas e o acúmulo de nutrientes de três espécies forrageiras: milho (*Zea Mays*), sorgo (*Sorghum bicolor L.*) e milheto (*Pennisetum glaucum L.*) utilizando modelos lineares e não lineares.

3.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 FISIOLOGIA DO CRESCIMENTO

A fisiologia do crescimento e desenvolvimento de plantas é um complexo fundamentado em dois principais fatores: os internos (hormônios vegetais e nutrição) e externos (fotoperíodo, umidade e temperatura).

O crescimento e o rendimento final de uma cultivar ou outro material genético é o resultado de suas interações com o ambiente. Para compreender alguns aspectos da natureza dos controles intrínsecos de cada material, necessita-se do estabelecimento de índices mais detalhados que permitam uma melhor compreensão dessas interações através da análise quantitativa do crescimento. Esta análise se fundamenta no desenvolvimento de testes e modelos de simulação do crescimento e produtividade da cultura, baseado em vários índices fisiológicos (BENINCASA, 2003; BLACKMAN, 1919; MACHADO et al., 1982; PEIXOTO, 1998).

O crescimento de plantas pode ser dividido em três estágios principais, segundo Taiz e Zeiger (2009): embriogênese, desenvolvimento vegetativo e desenvolvimento reprodutivo.

Embriogênese é o processo pelo qual uma única célula é transformada em um complexo multicelular. O embrião é acondicionado dentro dos tegumentos, formando a semente e, posteriormente, ocorre o processo de estabelecimento da polaridade, onde as atividades das células se diferenciam de acordo com as suas posições no embrião. Há um grupo de células chamado apical, que são formadas nas extremidades, ao qual origina-se o crescimento da parte aérea (meristema apical do caule - MAC) e da parte radicular (meristema apical da raiz- MAR) (TAIZ E ZEIGER, 2009).

Desenvolvimento vegetativo: após a germinação, onde ocorre a quebra do estado de dormência e mobilização de reservas armazenadas na semente, inicia-se o estágio de crescimento vegetativo, mediante a atividade dos meristemas apicais da raiz e do caule (WEIGEL & JURGENS, 2002). Devido a fotomorfogênese e do posterior desenvolvimento da parte aérea, a planta torna-se fotossinteticamente ativa, assim, possibilitando o desenvolvimento vegetativo.

Desenvolvimento reprodutivo: após o período de crescimento vegetativo, a planta encontra-se fisiologicamente preparada para começar a responder aos estímulos externos e internos, principalmente aos fatores temperatura e fotoperíodo, assim, ocorrendo a transição da fase vegetativa para fase reprodutiva, marcada do início da floração até a formação dos frutos.

O crescimento de plantas apresenta um grau de plasticidade, em grande parte, podendo ser atribuído aos tecidos especializados chamados meristemas (ESAN, 1965; GIFFORD & FOSTER, 1987). Meristema é definido por Taiz e Zeiger (2009) como células que detêm a capacidade de proliferar e o destino final é indeterminado, que é distinto com base em sua posição na planta, contribuindo, assim, para o crescimento da planta.

Em nível celular pode citar três eventos simples que estão associados ao desenvolvimento e crescimento de plantas. O primeiro é a divisão celular, onde uma célula madura divide-se em duas células filhas, que, de modo geral, são distintas. O segundo evento é a expansão celular no qual uma ou ambas as células filhas aumentam de volume. E, o terceiro evento é a diferenciação celular, no qual, após a célula aumentar de volume, ela se torna especializada para executar uma determinada função. Devido às diferentes maneiras que esses eventos ocorrem, produzem as diferentes espécies vegetais e os diferentes tipos de tecidos e órgãos na planta (TAIZ E ZEIGER, 2009).

Segundo Lucchesi (1987), no início a planta é dependente das reservas da semente para produzir os diferentes órgãos, após o desenvolvimento do sistema radicular e a expansão das folhas, a planta começa a retirar água e nutrientes do solo e ativa o seu maquinário fotossintético, produzindo os fotoassimilados. Com o passar do tempo, as folhas aumentam sua área foliar (AF), passando para fase de crescimento linear, aumentando o incremento de matéria seca (MS); ao atingir o tamanho definitivo, a planta entra na fase de senescência, reduzindo o IAF, resultando no decréscimo de acúmulo de MS e, ocasionando a degeneração do aparato fotossintético.

3.2 SORGO, MILHO E MILHETO

3.2.1 SORGO

O sorgo (*Sorghum bicolor L.*) é uma planta originária da África. Os sorgos que são cultivados atualmente, segundo Doggett (1988), se originaram do silvestre *Sorghum Bicolor* sub sp. *arundinaceum* e, a maior variação do gênero *Sorghum* se encontra abaixo do Saara, no centro- oeste da África, de onde é proveniente o gênero ancestral, que possui um número básico de 5 cromossomas, e que se originou há mais de 5.000 anos. O sorgo é uma planta autógama, possui uma baixa taxa de fecundação cruzada. Apresenta o metabolismo C4, com melhores respostas fotoperiódicas a dias curtos e altas taxas fotossintéticas. O déficit de água e o excesso de umidade são mais toleráveis pela planta de sorgo do que a maioria de outras culturas, podendo ser cultivada em uma ampla área de condições de solo (DOGGETT, 1990). Outro fator importante para cultura é a temperatura. A temperatura ótima para cultura varia entre 29 e 33°C. Quando a temperatura atingir níveis acima 38°C e abaixo de 16°C, a produtividade sofre graves perdas. As baixas temperaturas causam redução no perfilhamento, na altura, na área foliar, no acúmulo de matéria seca e atrasos na floração. Altas temperaturas podem ocasionar aborto floral. Os danos ocasionados por temperaturas mais altas são menores do que os causados por baixas temperaturas.

Nas últimas décadas o sorgo apresentou uma grande expansão de área cultivada. Do ponto de vista agrônomo, esse enorme crescimento se deu devido ao seu alto potencial em produção de matéria seca e de grãos, além de ser uma planta que possui uma boa capacidade de suportar estresses ambientais, como regiões que possuem baixas precipitações pluviométricas e solos de baixa fertilidade (EMBRAPA, 2015).

Da fase do plantio até a iniciação da panícula (EC1), primeira fase, a velocidade de germinação, a emergência e o estabelecimento da plântula são lentos, portanto, ocorre um ineficiente controle das plantas daninhas, podendo ocasionar redução da produtividade. Os híbridos, de maneira geral, possuem uma formação de folhas e do sistema radicular mais eficiente do que as linhagens (MAGALHÃES, 2003). Na segunda fase (EC2), compreendendo da iniciação da panícula até o florescimento, a atenção deverá ser redobrada com alguns processos de crescimento da planta, como: desenvolvimento da área foliar, formação de grãos e sistema radicular (MAGALHÃES, 2003). Na terceira fase, que vai da floração até a maturação fisiológica, os fatores mais importantes são relacionados ao

enchimento de grãos. Portanto, durante as três etapas de desenvolvimento da cultura do sorgo, a fotossíntese, o particionamento de fotoassimilados e a divisão e expansão celular devem estar muito bem ajustados, para um bom rendimento da cultura.

Por ser uma planta C4, o sorgo é exigente a luz solar (fotões de luz). A taxa de fotossíntese das folhas do sorgo gira em torno de 30 μmol de CO_2 por m^2/s (metro quadrado por área foliar), isso dependerá do material genético, da intensidade dos fotões de luz e da idade das folhas. Estima-se que uma folha da planta de sorgo possui 50% a mais de estômatos por unidade de área do que uma planta de milho, porém, os estômatos do sorgo são menores (EMBRAPA, 2015). Quando ocorre o efeito de sombreamento nas folhas do sorgo, com a conseqüente redução da fotossíntese, isto provoca um efeito menor na fase EC1, quando comparado às fases EC2 e EC3. Segundo Magalhães (2003), a explicação se dá, visto que, a demanda metabólica na fase EC1 é menor do que nas outras duas fases. Ou seja, além da atividade metabólica da EC2 e EC3 serem maiores, a demanda por fotoassimilados (açúcares oriundos da fotossíntese) também é maior, portanto, para que ocorra um perfeito desenvolvimento da planta, a mesma requer uma alta taxa fotossintética para satisfazer os órgãos reprodutivos.

3.2.2 MILHO

O milho é uma gramínea pertencente ao grupo da *Poaceae*, sua espécie é *Zea Mays* L. e todos os milhos existentes estão incluídos nessa espécie. O centro de origem é o México e a América Central, sendo cultivado há mais de 10 mil anos (Paterniani et al., 2000). A planta pode sofrer modificações nos seus processos vegetativos e reprodutivos, ocasionados a partir da interação com fatores ambientais que controlam a ontogenia do desenvolvimento. Portanto, depois de anos de seleção genética e também da pressão natural, produziu-se uma planta robusta, anual e ereta, podendo variar de 1 a 4 metros de altura, que tem o foco principal na produção de grãos (EMBRAPA, 2015).

Segundo Baldo (2007), a planta de milho é uma das mais eficientes armazenadoras de energia existente na natureza, em decorrência a sua grande capacidade de acumular fotoassimilados. Em um curto espaço de tempo, aproximadamente 9 semanas, uma pequena semente que pesa em torno de 0,3 g, dá origem a uma planta de mais de dois metros de altura, produzindo cerca de 600 a 1000 sementes similares àquela a qual se originou

(ALDRICH et al., 1982).

O Brasil, por ser um país de clima tropical em grande parte do seu território, possui uma grande vantagem para cultivar essas gramíneas (metabolismo C4) devido a suas características climáticas, temperaturas em média de 25°C e precipitação anual em torno de 1200mm, ou seja, condição ideal para um ótimo desenvolvimento. Contudo, também existem desvantagens nesse tipo de ambiente, como a imprevisibilidade das condições climáticas e variações bastante acentuadas tanto entre regiões quanto entre anos (PATERNIANI et al., 2000).

Assim, com o avanço das mudanças climáticas provavelmente poderá se verificar modificações no ambiente (Pinto & Assad, 2008). Com isso, o estudo da fisiologia das plantas, em particular o milho, torna-se muito importante e necessário principalmente para identificar quais caminhos ou como o ambiente afeta a planta de milho e assim incrementar ferramentas que auxiliam nos estudos de melhoramento para uma maior produção/produtividade do milho. Para entender a influência do fator ambiental na cultura de milho é necessário dividir esses fatores em duas naturezas: bióticos e abióticos. Os fatores bióticos são resultantes da interação planta e organismo, como, por exemplo, parasitismo, simbiose, herbivoria, infecção e outros. Os fatores abióticos de natureza abiótica incluem os fatores físicos como umidade, temperatura, intensidade luminosa, oferta de nutrientes e outros. Esses fatores podem ocasionar ganhos ou danos à cultura, por exemplo, o vento é um fator extremamente importante para polinização, mas também pode ocasionar perdas (dependendo de sua intensidade) de produtividade por disseminar pragas e aumentar as perdas de água na planta pelos estômatos (Schulze et al., 2005).

Na cultura do milho, altas produtividades têm sido proporcionadas em decorrência do aumento da área foliar e outras alterações morfofisiológicas. A regulação do aparato fotossintético e, conseqüentemente, o aumento da sua eficiência no aproveitamento da utilização da energia solar é o fator mais importante para obter aumentos na produção; no entanto, a relação entre fotossíntese e produção é bastante complexa e, às vezes, contraditória (Long et al., 2006). Essa complexidade se deve ao fato de que diversos fatores podem estar ligados, podendo citar a abertura estomática e a condutância de CO₂ no interior das células do mesófilo, idade e arranjo das folhas, deficiência hídrica, uso eficiente da radiação, tipo de metabolismo para fixação do carbono (C3, C4 e CAM) e concentração de

nitrogênio nas folhas. No milho, cerca de 90% da matéria seca provém da fixação do CO₂, oriundo da fotossíntese. O milho apresenta uma alta eficiência na utilização de CO₂ e luz, por ser uma planta de metabolismo fotossintético C₄, portanto, um dos principais fatores de perdas de produtividade se dá pela deficiência de luz em certas fases da cultura, como, por exemplo, no enchimento de grãos (EMBRAPA, 2015).

Um caráter fisiológico muito utilizado nos processos de melhoramento genético de milho nas últimas décadas é o chamado “stay green”, que envolve a capacidade da planta em manter suas folhas verdes (escape ou atraso da senescência) até próximo da maturação fisiológica dos grãos (Tollenaar & Lee, 2002;Valentinuz & Tollenaar, 2004; Sangoi et al., 2007). A maturação fisiológica do milho é onde todos os grãos da espiga estão no máximo acúmulo de peso e vigor, e ocorre cerca de 50 a 60 dias após a polinização. Neste estágio, acontece o início do processo de senescência natural das folhas e é paralisado o acúmulo de matéria seca nos grãos (Ritchie & Hanway, 1989; Magalhães et al. 1994; Ritchie et al., 2003). O ponto da maturação fisiológica é quando a planta atinge o momento ideal para colheita, com 30 a 38% de umidade. Nessa umidade, os grãos ainda não estão em condições de ser colhidos e armazenados com segurança, uma vez que deveria estar entre 13 a 15% de umidade. Quando o grão apresentar umidade entre 18 a 25% já pode começar a ser colhido, desde que posteriormente, o mesmo passe por processo de secagem artificial antes de ser armazenado (EMBRAPA, 2015).

Quando pensa nos fatores relacionados ao rendimento de produção, nada mais é que o resultado de assimilação da planta, do período disponível para assimilação e de todas as influências favoráveis e desfavoráveis dos fatores ambientais, como: luz, temperatura, status hídricos, pragas e doenças, nutrição, CO₂, aparato foliar e etc (MAGALHÃES, 2015).

3.2.3 MILHETO

O milheto, *Pennisetum glaucum* ssp. *glaucum* (L.), é uma gramínea C₄, pertencente à família *Poaceae*, possuindo como centro de origem as regiões semidesérticas da África e da Índia, com características climáticas severas (elevadas temperaturas e baixa disponibilidade hídrica) e solos de baixa fertilidade. Para sobreviver nessas condições, o milheto equilibrou todo seu ciclo fenológico em um período curto (EMBRAPA, 2015).

O milho tem por característica apresentar adaptação aos estresses abióticos, como, o déficit hídrico, pela performance de desenvolvimento em curto período de duração e assim, maximizando o uso da umidade disponível no solo. O cultivo é feito em áreas tropicais áridas e semiáridas, possuindo como características climáticas altas temperaturas, baixa precipitação pluvial e solos rasos ou arenosos (EMBRAPA, 2015). Em grande parte, a alta performance do milho em situação adversa de clima e solo é devida à profundidade do sistema radicular, podendo atingir até 3,60m (Skerman & Riveros, 1992) e pela grande eficiência em transformar CO₂ e água em matéria seca. Comparando com milho e sorgo, que necessitam de 370 e 321g de água para cada grama de matéria seca, respectivamente, a planta de milho necessita de algo em torno de 300g (EMBRAPA, 2016). Outra característica importante da cultura, é que o milho apresenta tolerância elevada à toxidez por alumínio, dessa forma, possuindo vantagem econômica sobre o sorgo e o milho (Ahlrichs e Kretschmar, 1991).

Em decorrência da sua alta produtividade de matéria seca e valor nutritivo, o milho é uma forrageira muito importante para alimentação animal, tanto sob pastejo, quanto para armazenar, por exemplo, na forma de silagem (PILAU et al., 2005). Entretanto, tem ocorrido uma redução de produtividade na cultura do milho, principalmente devido à utilização de sementes produzidas pelos agricultores, dessa forma, ocorre a degeneração genética, proveniente do cruzamento do milho com outras gramíneas, por exemplo, o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) (TREDEZINI et al., 2006).

O ciclo fenológico do milho é de 130 dias; porém há variedades precoces que atingem o seu ponto de maturação fisiológica entre 60 a 90 dias, com média de produção de 10 toneladas de matéria seca/ha. Visando essa série de fatores positivos, o milho tem se tornado uma cultura muito plantada, não somente devido à sua capacidade de estruturação de solos, mas também pelo fator econômico (PERRET e SCATENA, 1985).

Quando comparado ao sorgo e ao milho, o milho possui qualidade e teor de proteína bruta (PB) semelhante ao sorgo e superiores ao do milho, possuindo em média 12% de PB no grão (PEREIRA et al., 1987). O potencial produtivo das plantas é limitado, principalmente, pela deficiência de nitrogênio e, comprometendo o teor proteico. Devido a esta limitação, a adubação nitrogenada tem alta relevância no manejo nutricional de solos e,

consequentemente, durante todo desenvolvimento da planta, uma vez que o N é responsável pelo crescimento rápido, produção de novas células e tecidos nas plantas, refletindo em uma excelente qualidade nutricional (JORNADA et al., 2008). A qualidade do milho em rações para alimentação animal estatisticamente não há diferença significativa quando comparado às rações de milho e sorgo e, sabendo que o custo de produção do milho é 40% menor, a substituição do milho e sorgo pelo milho é economicamente viável. Um entrave para propagação dessa ração em larga escala é a baixa oferta de grãos no mercado, visto que, hoje a maior parte da produção do milho tem como objetivo principal a produção de palhada em sistemas integrados e plantio direto, ou seja, a produção do milho não tem como foco principal a produção de grãos com rigoroso controle de qualidade, como ocorre com o milho e sorgo. Portanto, o abastecimento sofre oscilações, gerando sérios transtornos para o setor (EMBRAPA, 2009).

Segundo Minocha (1991), o milho possui dupla aptidão, a planta inteira é utilizada em forma de palhada e como fonte de alimento para o gado, na forma de silagem, capineira ou pastejo direto, por produzir um alto volume de massa verde, nutritiva (chega até 24% de PB e digestibilidade entre 60 a 78%), além de ser palatável e atóxica em qualquer fase do seu ciclo fenológico e, há também aptidão para produção de grãos, que são utilizados para fazer ração para animal e na culinária humana.

3.3 MODELOS MATEMÁTICOS NA AGRICULTURA

Atualmente a modelagem matemática na agricultura ainda é considerada uma novidade, a qual pensa ser um método que utiliza somente da matemática, o que não é verídico, a modelagem é um teste de hipóteses quantitativo que vem sendo usado na matemática e na ciência de modo geral.

Os modelos de produção de culturas agrícolas que se têm utilizado, de maior ou menor conhecimento sobre os fenômenos pesquisados, têm por base o balanço de carbono (dependente da interceptação e da utilização da luz) e o balanço hídrico (dependente da evapotranspiração); de modo geral, esses processos ecofisiológicos estão associados a deposição de matéria seca na planta, absorção de nutrientes e perdas de produção devido ao ataque de pragas e doenças; portanto, a fim de agregar todos esses conhecimentos, isso se torna possível através de equações matemáticas que resultam em modelos que podem

simular o crescimento, o desenvolvimento e a produção da cultura de interesse (Penning de Vries, 1982).

A modelagem matemática tem proporcionado um importante papel na quantificação do potencial produtivo em diferentes áreas de produção, estimando por meio de equações a real produtividade, levando em consideração todas as perdas de rendimentos (Pedro Jr. et al., 1983; Marin et al., 2000).

Com base nos conhecimentos de fisiologia vegetal, sabe-se que o crescimento e desenvolvimento de plantas são fundamentalmente dependentes dos processos de fotossíntese e respiração, assim, a pesquisa é refletida em sofisticados modelos, os quais refletem o crescimento das plantas, com variáveis de penetração solar, taxa fotossintética, elevação solar, etc. (Pereira & Machado, 1987).

Diversos parâmetros foram utilizados por pesquisadores a fim de desenvolver modelos que simulem o crescimento de plantas, em virtude do acúmulo de matéria seca e o índice de área foliar, em função dos dados fenológicos e climatológicos (Keulen et al., 1982; Keulen & Wolf, 1986; Spitters et al., 1986).

Costa (1997) ressaltou que os modelos matemáticos de simulação em conjunto com a experimentação agrícola convencional em maior escala, são um desafio para pesquisa científica, visto que tornará a pesquisa mais eficiente.

Segundo Rimmington & Charles-Edwards (1987), há três importantes utilizações de modelos matemáticos em ciência de plantas: (i) Análise das respostas obtidas através das observações do crescimento de plantas em função de alguns fatores, auxiliando na compreensão do crescimento e desenvolvimento das espécies vegetais, resultando em orientações para pesquisa; (ii) simular o crescimento de plantas por modelos que consistem em diversas variáveis e níveis de interação; e (iii) prever a produtividade da cultura de interesse em virtude das condições edafoclimáticas, assim, sendo uma importante ferramenta para gerenciamento e tomada de decisão.

4.0 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local e condição experimental

O experimento foi conduzido na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - *Campus* - Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil (21°48'34"S e 41°18'06" W e 6 m de altitude) em dois anos consecutivos 2019 e 2020 durante os meses de Janeiro a Abril. No primeiro ano experimental (2019) foi mensurado o índice pluviométrico entre os meses de janeiro a abril, período em que ocorria o desenvolvimento das plantas, totalizando 197,2 mm. Já no segundo ano experimental (2020), o índice pluviométrico entre os meses de janeiro a abril, totalizou 485,9 mm (UFRRJ, 2020), conforme apresentado nas figuras abaixo:

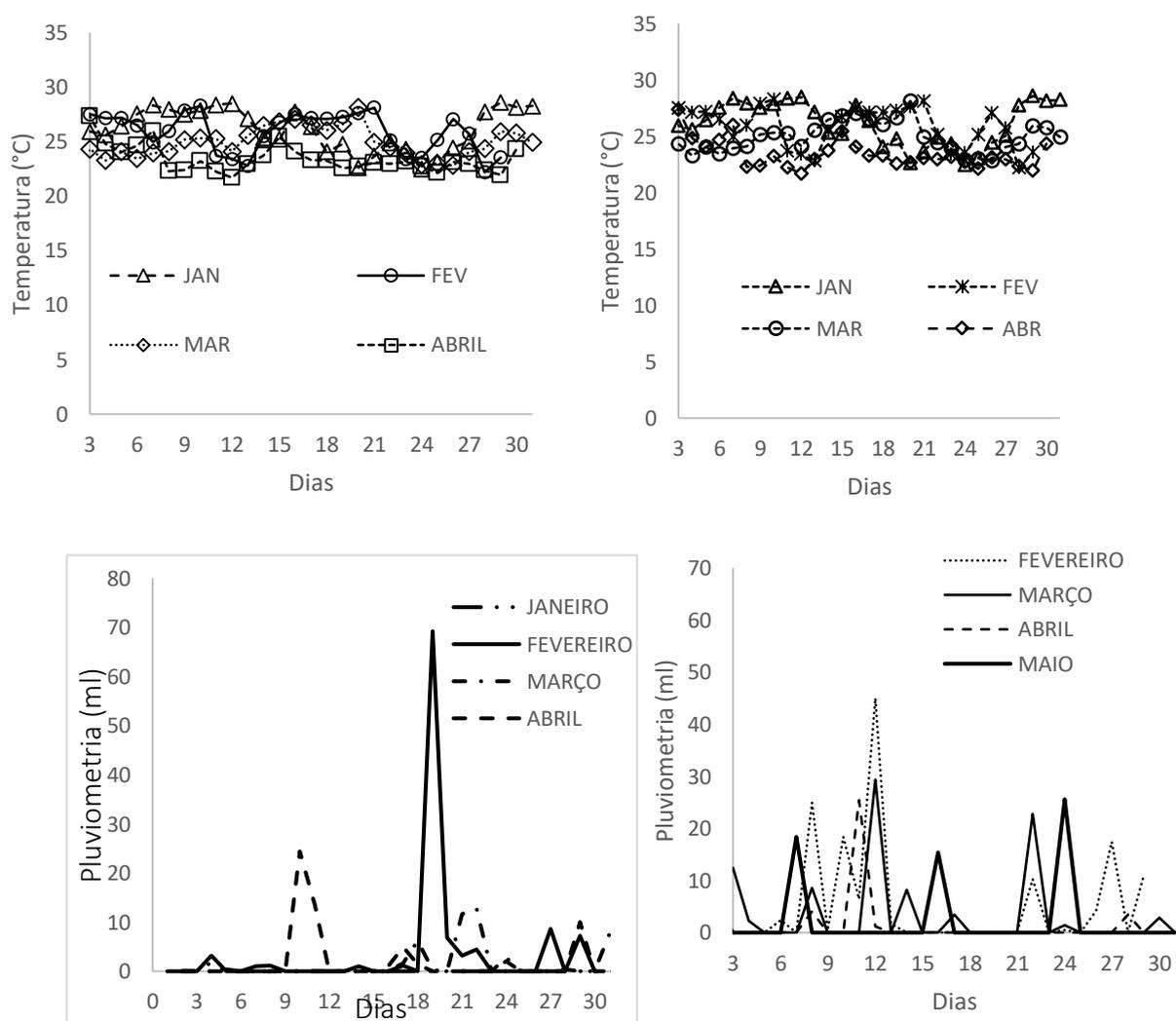


Figura 1: Temperatura (°C) e pluviometria (ml) referente aos meses de janeiro, fevereiro, março e abril, período experimental em que as plantas estavam em processo de crescimento a campo.

De acordo com a classificação climática de Köppen (2013), a região Norte Fluminense insere-se na classe Aw, isto é, clima tropical úmido, com verão chuvoso, inverno seco e precipitação anual em torno de 1.020 mm, onde o mês mais seco tem precipitação inferior a 60 mm e equivale a menos de 4% da precipitação anual total (Mendonça et al., 2011). O solo da área experimental é classificado como Cambissolo.

4.2 Plantio, manejo e delineamento experimental

Foram utilizadas três culturas de interesse agrícola: milho cv. BRS 1501, sorgo cv. BRS8010 e milho cv. PR1150. Todos apresentam ciclo fenológico precoce com florescimento entre 50 a 90 dias.

A área utilizada no plantio das culturas apresentava-se em pousio e por ser um solo pesado (mais de 60% de argila), houve a necessidade de um preparo convencional, composto de aração e gradagem, e gradagem niveladora. Em seguida, a abertura dos sulcos com espaçamento de 0,70 metros e profundidade variando em torno de 5 cm.

Foi realizada coleta de solo e encaminhamento das amostras para análise no Centro de Análises da UFRRJ-CCG. A composição do solo está apresentada na tabela 1.

Resultado de análise química de solo - UFRRJ/CCG									
pH	P*	K*	Ca	Mg	Al	H+Al	Na	SB	V
água	mg dm ³		cmolc dm ³				cmolc dm ³	%	
5,5	23	31	0,47	0,1	0	0,77	0,02	0,7	46,5

Tabela 1: Resultado da análise química de solo

As adubações foram realizadas com base nos resultados de análise do solo utilizando as recomendações do Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro (Freire et al., 2013). Foi utilizado 200 kg/ha da fórmula 08-28-16 para o milho e 250 kg/ha para o milho e sorgo. Não houve a necessidade de correção da acidez do solo.

No plantio tanto o adubo quanto as sementes foram distribuídos manualmente, com auxílio de um medidor graduado. Após a distribuição do adubo e das sementes nos sulcos, estes foram fechados manualmente. A recomendação da taxa de semeadura para o milho foi de 60 sementes puras e viáveis (SPV) por metro linear, para o sorgo de 13 SPVs por metro linear e o milho de 6 SPVs por metro linear.

Durante a condução do experimento utilizou-se a irrigação no período de germinação e emissão das plântulas, devido ao período de estiagem, a fim de permitir a germinação e emergência das plântulas. Após a emissão e enraizamento das plantas foi cessada a irrigação. O controle das plantas daninhas foi realizado por meio de uma capina manual, durante o ciclo da cultura.

Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados, com três culturas de interesse agrícola (milho, sorgo e milheto) e oito repetições cada, totalizando 24 unidades experimentais. Cada parcela foi composta por 12 linhas de 5 metros cada e espaçamento entre linhas de 0,7 metros (12x5x0,7m), totalizando uma área útil de 42m². O experimento totalizou 1008 m².

4.3 Avaliações biométricas

No 30º dia após a semeadura (DAS), foi escolhida a folha mais jovem de cada cultura (apresentando abertura do limbo foliar e localizada no ápice da planta), e nesta folha, foram realizadas medições do comprimento da nervura central da folha (CNC) com utilização de uma régua de escala de 1 milímetro, em todas as três culturas. As avaliações foram realizadas a cada dois dias até estabilização do crescimento.

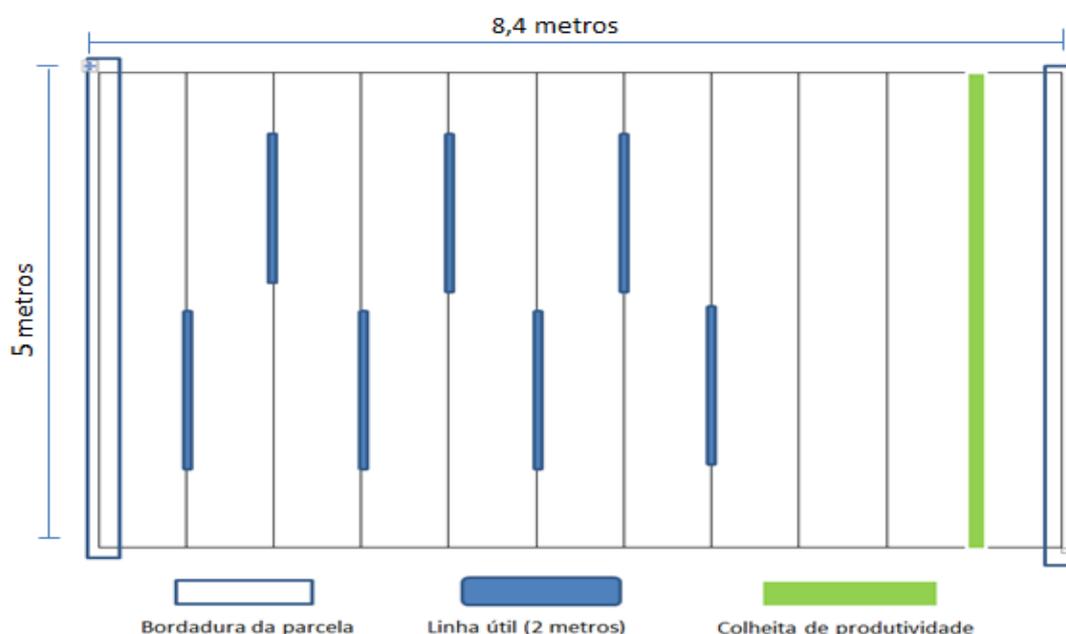
Simultaneamente, foi realizada medições do comprimento e da largura da última folha completamente expandida (localizada no ápice da planta), com utilização de uma régua de escala de 1 milímetro.

Para determinação do crescimento das plantas, foram realizadas as medidas de altura, sendo da base do colmo até a ponta da folha mais ereta e central da planta, com auxílio de uma régua milimetrada; e diâmetro do caule, que foi mensurado com auxílio de um paquímetro digital (marca Utustools), sendo realizadas três centímetros acima do nível do solo.

Para avaliar a deposição de nutrientes nas plantas foram realizadas colheitas em intervalo de 5 dias no milheto e para o milho e sorgo em intervalos de 15 dias. Esse intervalo de tempo entre colheitas foi em função do ciclo de cada cultura, portanto, o milheto apresenta o ciclo fenológico próximo aos 60 dias após emergência (DAE) e o milho e sorgo próximo aos 90 DAE. A primeira avaliação de ambas as culturas foi realizada no trigésimo dia após o plantio, e a última quando as culturas atingiram o ponto de ensilagem do material.

4.4 Avaliação química

Para colheita dos materiais, foi utilizado um gabarito de dois metros linear para delimitar a área que foi colhida em cada linha. Cada avaliação foi feita em uma única linha de cada parcela experimental e um recuo de 1 metro do início da linha para início das coletas, para evitar favorecimento por luminosidade, água e nutrientes por estarem nas bordaduras. Já no segundo corte foi colhido os dois metros finais da linha, para evitar o mesmo favorecimento da primeira linha, o terceiro corte feito como o da primeira linha, o quarto corte semelhante ao corte da segunda linha e assim em diante, conforme a figura abaixo:



Método de colheita das parcelas.

As amostras foram secas a 55 °C por 72 horas em estufa de ventilação forçada. Após a secagem, as amostras foram processadas em moinho de faca com crivo de 1 mm. Foram analisados os teores de matéria seca (MS, AOAC 967.03; AOAC, 1990), e cinzas (CZ, AOAC 942.05; AOAC, 1990). O conteúdo de proteína bruta (PB) foi obtido pela digestão das amostras (0,25 g) em tubos de 100 mL, utilizando blocos de digestão de alumínio de acordo com as orientações descritas nos métodos AOAC 984.13 e AOAC 2001.11, contendo 5 mL de H₂SO₄ e 1 g de uma mistura com uma proporção de 56:1 de Na₂SO₄ e Cu₂SO₄. 5H₂O, incluindo a recuperação do N com certificação do NH₄H₂PO₄ e Lisina-HCl (AOAC, 1990; Thiex et al., 2002). O teor de fibra solúvel (FDN) foi determinado utilizando o

analisador de fibra Tecnal TE-149. Foi utilizado o sulfito de sódio e duas adições de uma solução padronizada de amilase estável ao calor de acordo com o método INCT-CA F-001/1; descrito por Detmann et al. (2012).

5.0 AJUSTE DO MODELO

Para caracterizar a deposição de nutrientes e avaliação agronômica no milho, milho e sorgo dos 30 dias após o plantio até o ponto de colheita para ensilagem foram utilizados modelos lineares e não lineares.

Esses modelos foram ajustados às variáveis registradas com e sem medidas repetidas. As variáveis sem medidas repetidas foram matéria seca (MS, g / kg), proteína bruta (PB, g / kg), cinzas (g / kg) e fibra em detergente neutro (FDN, g / kg). As variáveis agronômicas registradas como dados longitudinais foram altura (cm), diâmetro (mm), comprimento (cm) e largura (cm). Os modelos lineares e não lineares avaliados foram:

$$y_i = \theta_0 + \theta_1 t_i; \quad (1)$$

$$y_i = \theta_0 + \theta_1 t_i + \theta_2 t_i^2; \quad (2)$$

$$y_i = A \exp(-\lambda t_i); \quad (3)$$

$$y_i = A t_i^{N-1} \exp(-\lambda t_i). \quad (4)$$

Os modelos linear e quadrático correspondem às Eqs. (1) e (2). O modelo exponencial da Eq. (3) é o caso particular para $N = 1$ do modelo de Wood reorganizado (Wood, 1967) ou Eq. (4). Os parâmetros θ_0 , θ_1 , e θ_2 são os componentes de interceptação, linear e quadrática das equações (1) e (2), respectivamente. Nas equações (3) e (4), A é um parâmetro de escala, λ (1 / dia) é uma taxa fracionária e N é o parâmetro da função gama que confere a forma da função para imitar o perfil de tempo; os parâmetros A , N e λ são considerados maiores que zero.

A variância homogênea σ^2 na Eq. (5) representa a suposição tradicional. A função de variância descrita pela Eq. (6) corresponde a um aumento ou diminuição exponencial da variância residual ao longo do tempo, dependendo da estimativa do parâmetro δ (1 / dia), uma razão fracionária cujo espaço de parâmetros é definido pelo intervalo $(-\infty, \infty)$. A

variância pode ser uma função de escala de $f(\theta, t_i)$, portanto, a função da potência da média ou da Eq. (7) pode ser usada em tais casos, em que ψ (adimensional) é uma potência de escala contida no intervalo $(-\infty, \infty)$.

$$\sigma_t^2 = \sigma^2; \quad (5)$$

$$\sigma_t^2 = \sigma^2 \exp(2\delta t_i); \quad (6)$$

$$\sigma_t^2 = \sigma^2 |f(\theta, t_i)|^{2\psi}; \quad (7)$$

No entanto, para caracterizar o crescimento das folhas até o ponto de colheita para ensilagem foram utilizados modelos de crescimento.

$$y_i = A \times (1 - \exp(-kt)); \quad (8)$$

$$y_i = A \times (1 - \exp(-ct)) / (1 + b \times \exp(-ct)); \quad (9)$$

$$y_i = A \times (b - b \exp(-ct)) / (b - 1); \quad (10)$$

$$y_i = A \times t^c / (t^c + b^c); \quad (11)$$

O ajuste dos modelos monomolecular (Brody, 1945), logístico (López et al., 1999), Gompertz (López et al., 1999) e generalizado Michaelis-Menten (López et al., 2000) foi representado para as equações 8, 9, 10 e 11, respectivamente. Em que, y_i é a i -ésima observação da variável dependente; t são os dias de coleta; A é o valor assintótico; b é um parâmetro de localização, importante para manter a forma sigmoideal do modelo; c está associado ao crescimento, indicando o índice de precocidade. Quanto maior o valor de c , menos tempo será necessário para a planta atingir o valor assintótico (A).

A taxa de crescimento foi estimada pela primeira derivada do modelo de melhor ajuste, conforme descrito na equação 12:

$$y_i = A \times (\exp(-b) \times \exp(-c \times t)) \times (b \times (\exp(-c \times t)) \times c); \quad (12)$$

6.0 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todos os modelos foram ajustados pelas funções gnls e nlme (Pinheiro et al., 2014) de R e os modelos que convergiram foram avaliados usando o critério de informação de

Akaike (Akaike, 1974) corrigido para pequenas amostras ou $AICc_h$ (Sugiura, 1978), e critérios de verossimilhança derivados, ou seja, a diferença entre os h -th modelos diferentes (Δ_h), os pesos de Akaike ou probabilidades de verossimilhança (w_h) e razões de evidência (ER_h) de acordo com as recomendações apresentadas por Burnham e Anderson (2002). As médias foram seguidas do intervalo de confiança (IC95%), apresentado como: $y \pm (Ur - Lr)/2$, em que, y é a resposta prevista; Ur e Lr representam os limites superior e inferior previstos no intervalo de confiança de 95%.

O seguinte modelo estatístico utilizado: $y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \tau_j + \alpha\tau_{ij} + b_k + e_{ijk}$. Em que, y_{ijk} é a observação referente à cultura i , no ano j no bloco k ; μ é a média geral; α_i é a cultura, $i = 1, 2, 3$; τ_j é o efeito do ano de colheita, $j = 1, 2$; $\alpha\tau_{ij}$ é a interação entre cultura e ano; b_k é o efeito do bloco, $k = 1, 2, 3 \dots, 8$; e_{ijk} é o erro aleatório.

7.0 RESULTADOS

Não houve efeito de ano ($P > 0,05$) sobre nenhuma das variáveis testadas. O modelo de melhor ajuste para os teores de nutrientes foi o modelo linear (MS [Eq.1], PB [Eq.2] e MM [Eq.2]). Entretanto, a fração fibrosa representada pela FDN teve melhor ajuste com o modelo de Wood (modelo não linear [Eq.2]) (Tabela 2). Não houve diferença ($P > 0,05$) na deposição de MS entre milho e sorgo, já o milho teve comportamento diferente, a partir de 50º dia ocorreu uma redução no teor de MS (Tabela 1, Figura 2A). Ao analisar os teores de PB foi observado que não houve diferença ($P > 0,05$) entre o milho, milho e sorgo (Tabela 2, Figura 2B). Mesmo comportamento foi observado para os teores de MM e FDN (Tabela 2, Figuras 2C e D), sendo que na FDN a curva do milho e do milho se sobrepõe.

Tabela 2– Composição química do milheto, milho e sorgo até o ponto de colheita para ensilagem

Variável (DAP)	30	35	40	45	50	55	60	75	90	EPM
MS										
Milheto	198.56	220.61	230.22	213.89	201.18	181.19	182.21	–	–	5.623
Milho	197.66	–	–	262.64	–	–	230.78	297.28	312.03	7.168
Sorgo	182.23	–	–	248.57	–	–	245.20	279.79	289.65	6.713
PB										
Milheto	167.14	143.65	98.54	84.66	65.96	64.83	66.06	–	–	3.801
Milho	146.39	–	–	73.96	–	–	82.91	63.00	54.95	3.755
Sorgo	188.50	–	–	87.32	–	–	90.98	66.85	65.66	4.855
FDN										
Milheto	588.38	631.61	674.12	693.63	669.26	693.31	692.26	–	–	4.096
Milho	632.56	–	–	662.92	–	–	702.44	678.14	625.12	4.664
Sorgo	581.59	–	–	639.18	–	–	654.89	619.99	601.56	4.968
Cinzas										
Milheto	14.31	13.18	11.81	12.41	10.23	10.73	10.38	–	–	0.188
Milho	12.55	–	–	9.46	–	–	8.79	7.84	7.56	0.250
Sorgo	15.68	–	–	12.43	–	–	12.55	10.68	9.31	0.258

EPM = Erro padrão da média; MS = Matéria seca; PB = Proteína bruta e FDN = Fibra em detergente neutro.

Tabela 3– Estimativas de parâmetros dos modelos escolhidos para a composição química do milheto, milho e sorgo até o ponto de colheita para ensilagem

Variável	Modelo	A or θ_0	N	λ	θ_1	θ_2
MS						
Milheto	Linear	225.29 ± 60.29	—	—	- 0.45 ± 1.29	—
Milho	Linear	137.82 ± 47.65	—	—	1.83 ± 0.73	—
Sorgo	Linear	169.8 ± 47.38	—	—	1.13 ± 0.72	—
PB						
Milheto	Quadrático	587.44 ± 173.61	—	—	- 19.02 ± 7.13	0.17 ± 0.07
Milho	Quadrático	211.10 ± 62.51	—	—	- 3.21 ± 1.86	0.016 ± 0.013
Sorgo	Quadrático	308.52 ± 91.90	—	—	- 5.77 ± 2.56	0.034 ± 0.018
FDN						
Milheto	Wood	43.98 ± 66.01	0.91 ± 0.54	0.017 ± 0.012	—	—
Milho	Wood	111.86 ± 73.58	0.60 ± 0.22	0.011 ± 0.004	—	—
Sorgo	Wood	77.83 ± 64.97	0.69 ± 0.28	0.012 ± 0.005	—	—
CINZAS						
Milheto	Quadrático	25.2 ± 8.52	—	—	- 0.48 ± 0.39	0.004 ± 0.004
Milho	Quadrático	19.02 ± 3.98	—	—	- 0.27 ± 0.14	0.002 ± 0.001
Sorgo	Quadrático	19.78 ± 4.16	—	—	- 0.17 ± 0.14	0.0006 ± 0.0001

A = parâmetro de escala; N = parâmetro da distribuição gama que confere forma à função do perfil de tempo; λ = taxa fracionária (1 / dia); θ_0 , θ_1 e θ_2 = intercepto e inclinação, respectivamente.

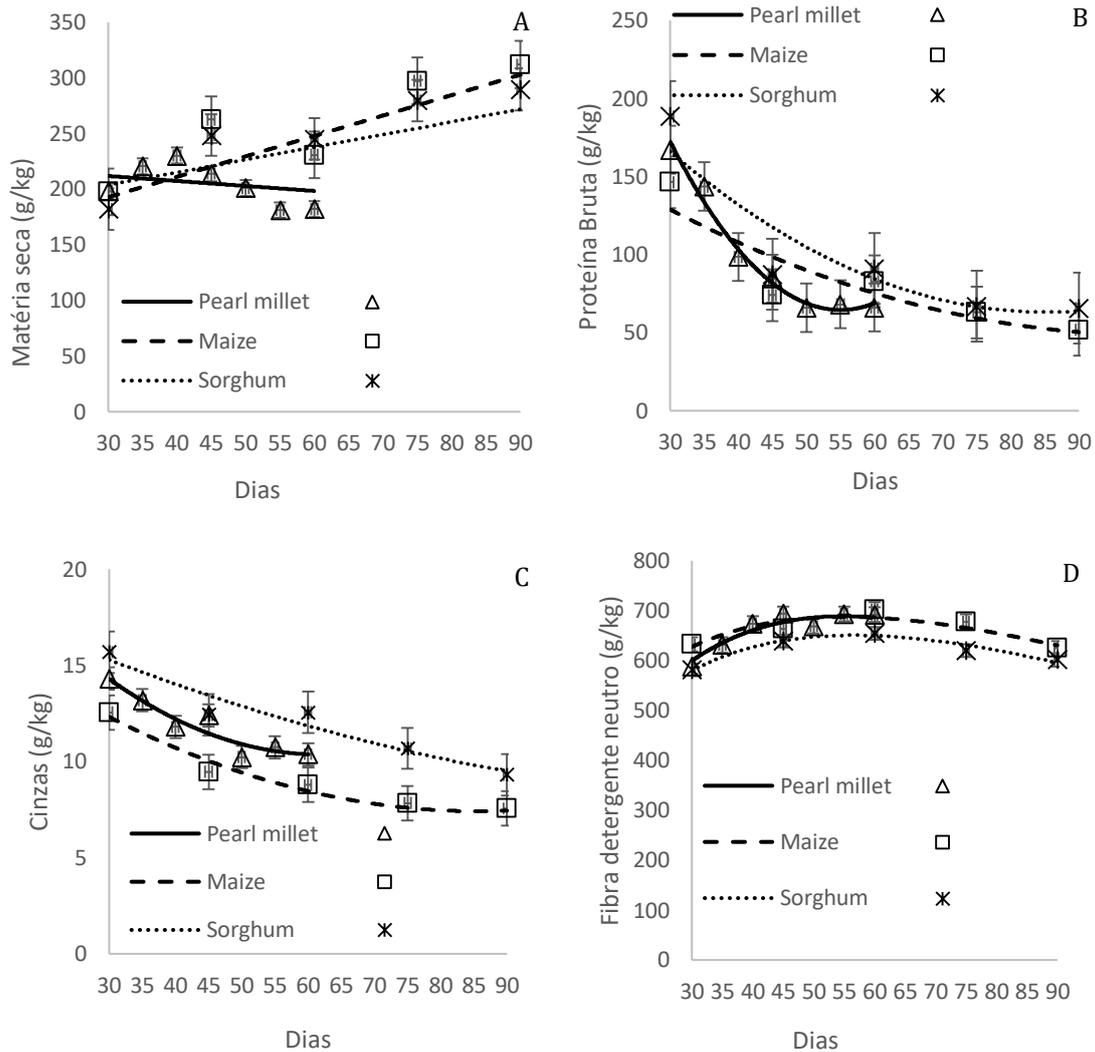


Figure 2 - Deposição de nutrientes no milheto, milho e sorgo dos 30 dias após o plantio até o ponto de colheita para ensilagem. Os símbolos são referentes às médias e às linhas que representam os preditos (linhas).

Nas variáveis agrônômicas altura da planta e largura da folha tiveram melhor ajuste com o modelo linear (Eq.2), já o diâmetro e o comprimento se ajustaram melhor no modelo de Wood (modelo não linear [Eq.2]) (Tabela 4).

Tabela 5 - Estimativas dos parâmetros dos modelos escolhidos para a avaliação agrônômica do milheto, milho e sorgo até o ponto de colheita para ensilagem

Variável	Modelo	A or θ_0	N	λ	θ_1	θ_2
Altura de planta						
Milheto	Quadrático	165.10 ± 23.35	—	—	$- 8.55 \pm 1.18$	0.14 ± 0.01
Milho	Quadrático	62.10 ± 14.63	—	—	-3.0 ± 0.68	0.07 ± 0.007
Sorgo	Quadrático	58.57 ± 14.62	—	—	-2.86 ± 0.68	0.07 ± 0.007
Diâmetro do colmo						
Milheto	Wood	0.0002 ± 0.0001	3.40 ± 1.20	0.036 ± 0.027	—	—
Milho	Wood	0.0001 ± 0.0001	3.51 ± 0.61	0.038 ± 0.011	—	—
Sorgo	Wood	0.0001 ± 0.0001	3.62 ± 0.60	0.040 ± 0.011	—	—
Comprimento foliar						
Milheto	Wood	0.0003 ± 0.0001	3.78 ± 0.87	0.049 ± 0.020	—	—
Milho	Wood	0.0016 ± 0.0021	3.09 ± 0.45	0.032 ± 0.009	—	—
Sorgo	Wood	0.0010 ± 0.0013	3.25 ± 0.45	0.034 ± 0.009	—	—
Largura foliar						
Milheto	Quadrático	2.67 ± 1.85	—	—	$- 0.03 \pm 0.09$	0.001 ± 0.0009
Milho	Quadrático	6.20 ± 1.07	—	—	$- 0.21 \pm 0.04$	0.003 ± 0.0004
Sorgo	Quadrático	5.43 ± 1.07	—	—	$- 0.18 \pm 0.04$	0.003 ± 0.0004

A = parâmetro de escala; N = parâmetro da distribuição gama que confere forma à função do perfil de tempo; λ = taxa fracionária (1 / dia); θ_0 , θ_1 e θ_2 = intercepto e inclinação, respectivamente.

As variáveis agronômicas não diferiram estatisticamente ($P>0,05$) entre as do milho, milheto e sorgo (Tabela 4, Figuras 3A, B, C e D). Sendo que as curvas dos modelos para o milho e sorgo se sobrepueram em todas as variáveis analisadas.

Tabela 4 - Estimativas dos parâmetros dos modelos escolhidos para a avaliação agrônômica do milheto, milho e sorgo até o ponto de colheita para ensilagem

Variável (DAP)	30	45	60	75	EPM
Altura de planta					
Milheto	32.01	58.13	146.71	–	3.778
Milho	32.97	61.71	130.75	213.08	4.511
Sorgo	32.64	61.04	133.81	210.98	4.548
Diâmetro do colmo					
Milheto	5.09	11.73	18.45	–	0.401
Milho	5.48	12.83	20.14	25.02	0.487
Sorgo	5.50	13.07	20.49	25.01	0.489
Comprimento foliar					
Milheto	22.89	50.98	73.04	–	1.503
Milho	23.51	51.98	76.59	96.44	1.786
Sorgo	23.21	50.89	80.14	96.90	1.878
Largura foliar					
Milheto	2.67	3.46	4.69	–	0.071
Milho	2.93	3.54	5.71	9.35	0.159
Sorgo	2.77	3.55	5.81	9.42	0.167

EPM = Erro padrão da média.

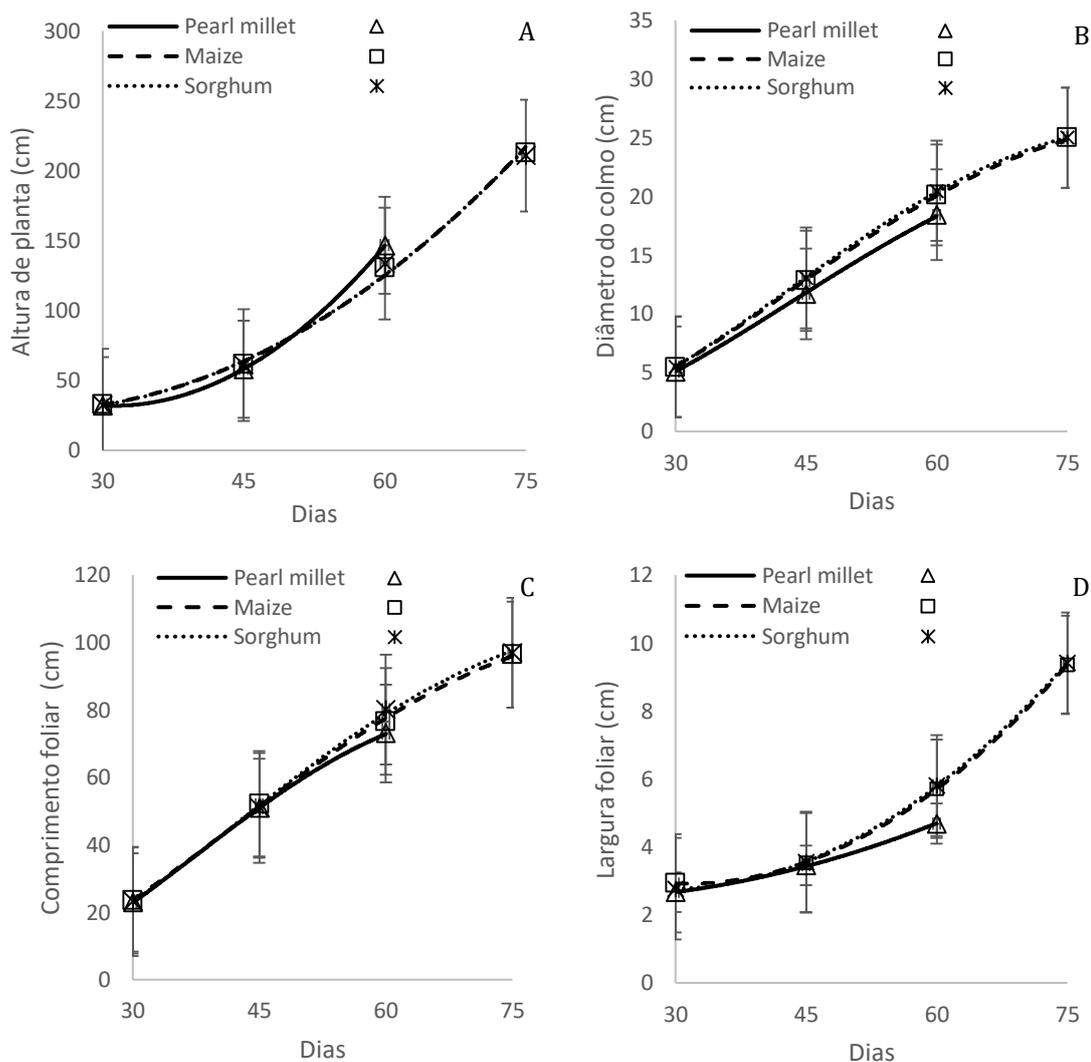


Figure 3 - Avaliação agrônômica em milheto, milho e sorgo dos 30 dias após o plantio até a colheita para ensilagem. Os símbolos são referentes às médias e as linhas representam os preditos (linhas).

Para o crescimento foliar o modelo de melhor ajuste foi o Gompertz (Eq.11) (Tabela 6). Apesar disso, o valor estimado pelo o modelo teve um comportamento ligeiramente diferente das tendências médias observadas. No milheto a partir do 26º dia e no milho e sorgo a partir do 34º dia é possível observar que os valores previstos da Eq. (11) são sistematicamente inferiores à tendência das médias (Figura 4A, B e C). As folhas do milheto atingiram o valor máximo em 15 dias com $1,19 \pm 0,0002$ cm/dia de crescimento (Figura 4A). As folhas do milho e sorgo tiveram crescimento máximo em 17 dias com $1,35 \pm 0,0001$ e $1,26 \pm 0,0021$ cm/dia, respectivamente (Figura 4B e C).

Tabela 6 - Estimativas dos parâmetros dos modelos escolhidos da curva de crescimento foliar do milheto, milho e sorgo até o ponto de colheita para ensilagem

Variável	Modelo	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>K</i>
<i>Crescimento foliar</i>				
Milheto	Gompertz	37.34 ± 9.85	3.79 ± 1.23	0.086 ± 0.026
Milho	Gompertz	49.80 ± 4.60	3.66 ± 0.52	0.073 ± 0.008
Sorgo	Gompertz	49.14 ± 5.03	3.24 ± 0.45	0.069 ± 0.009

A = = representa a assíntota superior, *B* = é a constante de integração e *K* é um coeficiente de taxa de crescimento (que afeta a inclinação).

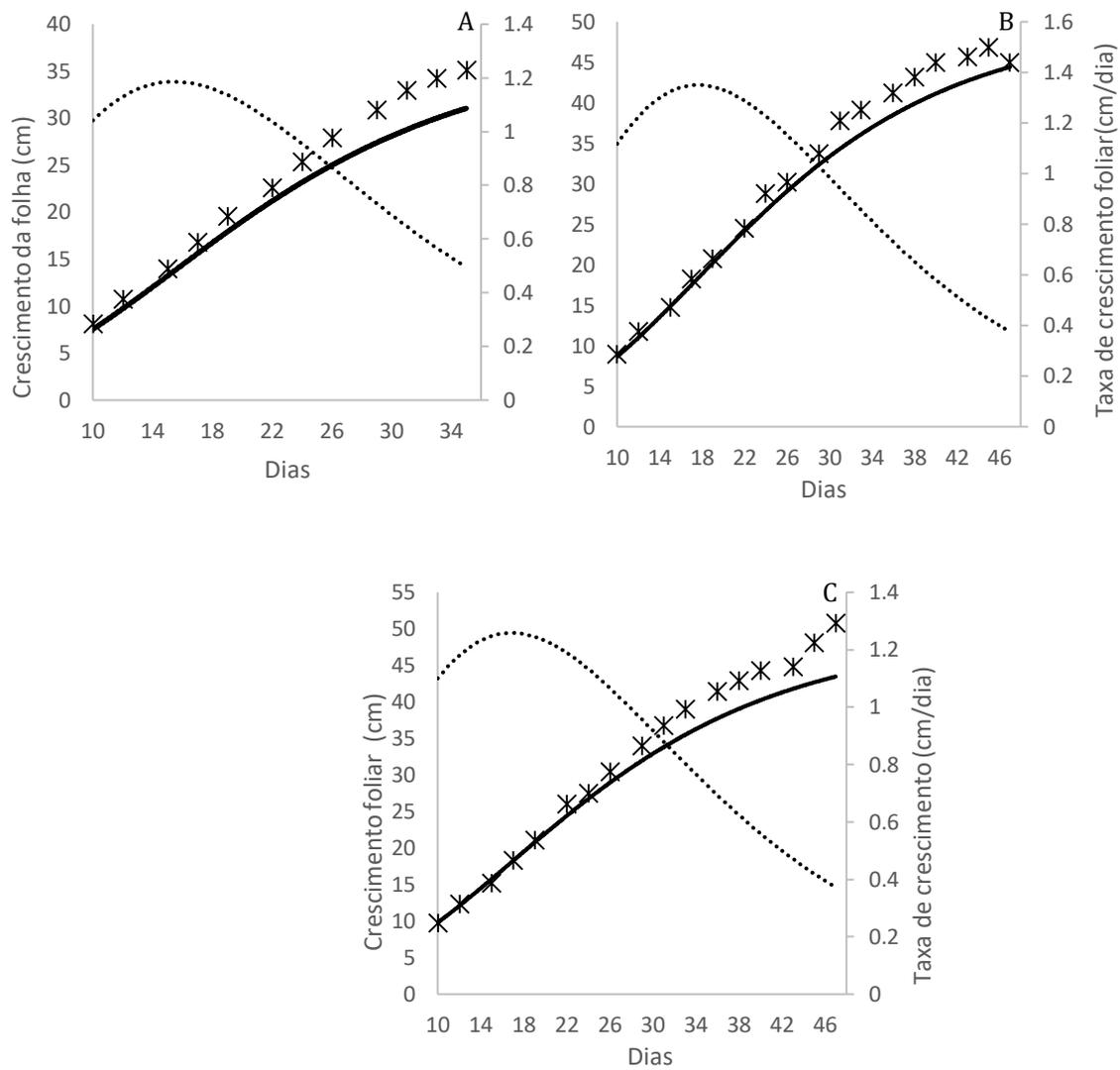


Figure 4 - Curva de crescimento do milheto, milho e sorgo aos 30 dias após o plantio até o ponto de colheita para ensilagem (A) milheto, (B) milho e (C) sorgo. Média dos mínimos quadrados (*), previsto (linhas sólidas) e taxa de crescimento (linhas tracejadas).

8.0 DISCUSSÃO

Dinâmica de nutrientes

As plantas C4 têm alta eficiência fotossintética, capacidade de produção de matéria seca, ciclo de vida curto e alto grau de tolerância ao calor e à seca (milheto) (Bidinger et al., 2009). Aproximadamente 40% da matéria seca das plantas é constituída de carbono fixado durante a fotossíntese. Ao captar energia solar e converter o CO₂ da atmosfera em carbono orgânico para a construção de biomassa, a fotossíntese realizada pelas plantas constitui um importante dreno terrestre para esse gás (Lambers et al., 2008). Essa via inicia-se pela fixação do CO₂ no fosfoenolpiruvato (PEP, 3C), formando o ácido oxaloacético com 4C, pela ação de fosfoenolpiruvato carboxilase (PEP-case) que se encontra no citoplasma. O ácido oxaloacético produzido pode, então, ser transformado em ácido málico, com gasto de 1 NADPH, ou em ácido aspártico. Os ácidos C4 malato e aspartato são os primeiros intermediários estáveis detectáveis da fotossíntese em folhas do milho, milheto e sorgo e o átomo de carbono 4 do malato, conseqüentemente, torna-se o carbono 1 do 3-fosfoglicerato. A carboxilação inicial nessas folhas não é catalisada pela rubisco, mas pela PEP (fosfoenolpiruvato) carboxilase. Porém, a fotossíntese pode ser limitada pela baixa luminosidade, promovendo uma diminuição no ganho de carbono e o crescimento das plantas. Também, quando em excesso de luz, a planta desenvolve mecanismos de fotoinibição para conter o estresse oxidativo.

As culturas do milho, sorgo e milheto apresentam alta atividade fotossintética e uma exigência de água de ordem decrescente (milho → sorgo → milheto). Essa resistência à seca do sorgo e do milheto é devido a um processo adaptativo que previne a desidratação excessiva, como: estômatos menores, fechamento precoce dos estômatos, baixa densidade estomática e aumento da serosidade das folhas (Levitt, 1980). Neste estudo foi observado que o teor de matéria seca do milheto foi 37,09% (182,21/289,65) menor que o sorgo e 41,60% menor que o milho (Tabela 1, Figura 1A), por possuir um sistema radicular profundo o milheto em casos de restrição hídrica do solo, uma arquitetura radicular eficiente associada a um sistema radicular mais profundo é essencial para retardar a senescência foliar, mantendo um alto desempenho fotossintético para sustentar o crescimento e a produtividade (Lynch, 1995; Gao e Lynch, 2016). Aliado a isso, o milheto apresenta o fechamento precoce dos estômatos e maior serosidade das folhas, preservando mais a umidade na planta. Além disso, a translocação de nutrientes da folha para a formação e

enchimento dos grãos faz com que ocorra um aumento no teor de matéria seca na planta do milho, por exemplo (Di Fonzo et al., 1982).

O nitrogênio (N) é um nutriente essencial para a planta, é uma molécula sinalizadora que controla vários aspectos do metabolismo e desenvolvimento das plantas (Stitt Krouk et al., 2010). A planta é capaz de absorver NH_4^+ e NO_3^- , no entanto, a assimilação do NO_3^- é mais importante para os processos relacionados ao metabolismo do N. Porém, a capacidade fotossintética da planta está associada ao N da folha (Jiang et al., 2004), à área foliar e na taxa líquida de assimilação fotossintética (Poorter, 2001). A redução nos teores de proteína ($\text{N} \times 6,25$) no final do ciclo de crescimento pode ser explicado pela diminuição na taxa de absorção de proteína e perda de folhas mortas (Diouf et al., 2004). Além disso, para Vasconcelos et al. (1998), o decréscimo nos teores de proteína nas folhas e nos colmos, caracteriza a translocação do nutriente para os grãos a partir do estágio de enchimento de grãos. Este fato pode ser observado neste estudo (Tabela 2, Figura 2 B).

A partir de 30 dias após a emergência é quando a planta passa da fase vegetativa inicial para a fase vegetativa ativa (reprodutiva). Durante o crescimento inicial, em geral, há uma baixa biomassa vegetal, porém, alta concentração de nutrientes derivados do solo. Com o crescimento da planta, o acúmulo de massa é mais expressivo do que a capacidade de absorção da planta. Na fase vegetativa ativa, é observada a translocação de nutrientes aos órgãos reprodutivos para o desenvolvimento da panícula e formação dos grãos. Assim, o teor de minerais apresentou mesmo comportamento que a proteína (Tabela 2, Figuras 2b e c). Para Martins et al. (2017), essa redução nos teores de minerais ao longo dos dias também pode ser pelo efeito de diluição, devido ao crescimento da planta, pois estruturas como o caule, ganham maior proporção na participação da matéria seca total. Foi observado no presente trabalho que o teor de minerais no milheto reduz cerca de 0,065 g/dia (14.31-10.38/60), o milho 0,05 g /dia e o sorgo 0,07 g/dia (Tabela 2).

A fibra (FDN) é um termo meramente nutricional e sua definição está vinculada ao método analítico empregado na sua determinação (Mertens, 1997). A fibra constitui-se da parede celular dos vegetais, sendo formada principalmente por celulose, hemicelulose, lignina, proteína e por outros compostos minoritários. Este fato está relacionado pela translocação de nutrientes para a formação dos grãos (a partir do 50º dia após emergência). Entretanto, outro fato interessante neste estudo foi o menor teor de fibra no sorgo em relação ao milho e milheto (Figura 2d). O sorgo como outras plantas produz o tanino (metabólito secundário), com função de proteção contra patógenos ou herbívoros, atratividade para

polinizadores ou agentes de competição planta-planta. No entanto, a formação do tanino serve como um dreno de carbono na planta. Outro fator dessa cultivar BRS 810 é a presença da nervura marrom (gene BMr), que está relacionada com a menor deposição de lignina na parede celular (Astigarraga et al., 2014).

Características agronômicas

O crescimento é um termo quantitativo, relacionado a mudanças de tamanho e/ou massa nas plantas e animais. Em plantas, os aumentos em tamanho são frequentemente obtidos pela medição da expansão em uma única direção, tais como altura e diâmetro de caules ou área das folhas. Durante a fase inicial a planta depende fundamentalmente das substâncias de reservas da semente (período de crescimento lento), passando posteriormente, a uma fase exponencial (de crescimento rápido, fase linear), dependente da absorção das raízes e da atividade fotossintética. Neste caso, o embrião representa a participação inicial, enquanto a eficiência fotossintética lhe proporciona a aceleração. Neste estudo, nós observamos que nos primeiros 50 dias após o plantio o milho, milheto e sorgo tiveram o mesmo comportamento em relação à altura da planta (Figura 3a). Entretanto, a partir daí o milheto apresentou comportamento diferente do milho e sorgo, pois 60 dias após o plantio o milheto cresceu 3,8 cm/dia (146,71-32,01/30), sendo 14,47% a mais que o milho e 11,32% que o sorgo (Tabela 4). Isso pode ser justificado pelo desenvolvimento do seu sistema radicular mais agressivo do milheto. Para Maiti e Bidinger (1981), no milheto o sistema radicular primário, formado pelas raízes primárias e todas as suas laterais, conduz o crescimento do sistema radicular durante os primeiros 15 dias após o plantio, a uma velocidade média de 2 cm / dia, e em seguida, superado pelo sistema radicular adventício, que cresce a uma velocidade média de 3,5 cm / dia durante 50 dias. Este crescimento é importante para aquisição de nutrientes e água no solo.

Os caules das plantas transportam água e nutrientes das raízes para as folhas e contribuem para diversas arquiteturas de dossel que influenciam na interceptação de luz e fotossíntese foliar. Segundo Jensen e Wilkerson (2017), o caule também serve como depósito temporário de carboidratos não-estruturais, como sacarose, monossacarídeos, amido, frutanas e entre outros. As gramíneas C4 como cana-de-açúcar, milho e sorgo são capazes de acumular grandes quantidades de sacarose (Murray et al., 2008; McKinley et al., 2016). A capacidade de acúmulo de sacarose no caule fornece a essas plantas um reservatório de sacarose derivado da fotossíntese quando as exigências no metabolismo (crescimento e/ou enchimento) de sementes estão satisfeitas. Os carboidratos não-estruturais

que se acumulam no caule fornecem um reservatório de açúcares que aumentam a resiliência da planta e permitem o enchimento de grãos sob condições ambientais adversas que causam inibição da fotossíntese (Czedik-Eysenberg et al., 2016). Isso permite que a fotossíntese seja contínua, reduzindo os danos associados à interceptação de luz pelas folhas. Entretanto, ao analisar o diâmetro do caule do milho no presente estudo, observamos que foi 12% menor em relação ao milho e sorgo com 60 dias após o plantio (Tabela 4), este fato corrobora com os achados de McKinley et al. (2016).

A folha é o principal órgão fotossintético da planta, portanto, o tamanho (por exemplo, largura e comprimento da folha) afeta profundamente uma variedade de processos biológicos, como o crescimento da planta, sobrevivência, reprodução e função do ecossistema (Koch et al., 2004; Tozer et al., 2015). Estudos mostram que a variabilidade no tamanho da folha desempenha um papel proeminente na regulação térmica da folha (Givnish e Vermeij, 1976; Ackerly et al., 2002; Jensen e Zwieniecki, 2013; Wright et al., 2017). A taxa de convecção de calor por unidade de área foliar é maior entre a folha e o ar para uma folha pequena do que para uma folha grande (Leigh et al., 2017). Assim, espera-se que folhas menores tenham temperaturas foliares mais baixas do que folhas maiores em habitats com altas intensidades de radiação solar, evitando assim o superaquecimento (Niinemets e Kull, 1994). Além disso, o tamanho da folha tende a diminuir com a redução da disponibilidade de água (Basal et al., 2005; Cramer et al., 2009). Geralmente folhas menores são vantajosas em ambientes quentes e secos e em altas intensidades de radiação solar, enquanto folhas maiores são menos eficientes na capacidade de troca de energia, porém, são vantajosas em ambientes mais frios, úmidos e com menor irradiância (Niinemets et al., 2006; Meier e Leuschner, 2008 ; Tozer et al., 2015). Estes fatos corroboram com os achados deste estudo, em que, o comprimento da folha do milho foi em média 15,30% menor, com uma taxa de crescimento de $1,19 \pm 0,0002$ cm/dia (Figura 4A) que as folhas do milho ($1,35 \pm 0,0001$ cm/dia; Figura 4B) e sorgo ($1,26 \pm 0,0021$ cm/dia; Figura 4C) e 66,29% mais estreita que as folhas do milho e sorgo (Tabela 3), demonstrando sua capacidade de adaptação a climas adversos.

9.0 CONCLUSÕES

O acúmulo de matéria seca no milheto é menor em relação ao milho e sorgo, até o ponto de ensilagem.

O milheto tem um ímpeto de crescimento em altura da planta maior que o milho e o sorgo. Entretanto, tem menor comprimento e largura de folha em relação ao milho e sorgo.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIEC – Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. 2020. **Relatório de Exportações**. Disponível em: <http://abiec.com.br/exportacoes/>. Acessado em: 11 de novembro de 2020.
- ACKERLY, D., KNIGHT, C., WEISS, S., BARTON, K., AND STARMER, K. (2002). **Leaf size, specific leaf area and microhabitat distribution of chaparral woody plants: contrasting patterns in species level and community level analyses**. *Oecologia* 130, 449–457. doi: 10.1007/s004420100805
- ALDRICH, S.R.; SCOTT, W.O.; LENG, E.R. **Modern corn production**. 2.ed. Champaign: A & L Publication, 1982. 371 p.
- ALVARES, CLAYTON ALCARDE; STAPE, JOSÉ LUIZ; SENTELHAS, PAULO CESAR; DE MORAES GONÇALVES, JOSÉ LEONARDO; SPAROVEK, GERD (2013). **«Köppen's climate classification map for Brazil»**. *Meteorologische Zeitschrift* (em inglês). **22** (6): 711–728.
- ANDRÉ M., MASSIMINO D., DAGUENET A.,(1978). Daily patterns under the life cycle of a maize crop. II. **Mineral nutrition, root respiration and root excretion**. *Physiol. Plant.*, 44, 197-204.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the Association of the Analytical Chemists**. 16th ed. Washington, 1995.
- AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. **Association of the Analytical Chemists**. 15. ed. Arlington, 1990. v. 1, 1117 p.
- ARORA, N. K. (2019). **Impacto of climate change on agriculture production and its sustainable solutions**. *Environmental Sustainability*. **2:95–96**. doi:10.1007/s42398-019-00078-w.

- ASTIGARRAGA, L.; BIANCO, A.; MELLO, R.; MONTEDÓNICO, D. Comparison of brown midrib sorghum with conventional sorghum forage for grazing dairy cows. **American Journal of Plant Science**, v. 5, n. 7, p. 955-962, 2014. DOI:10.4236/ajps.2014.57108
- BALDO, M.N. **Comportamento anatômico, fisiológico e agrônômico do milho (Zea mays L.) submetido a estresses de ambiente em diferentes estádios fenológicos**. 2007. 92p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba
- BASAL, H., SMITH, C. W., THAXTON, P. S., AND HEMPHILL, J. K. (2005). **Seedling drought tolerance in upland cotton**. *Crop Sci.* 45, 766–771. doi: 10.2135/cropsci2005.0766
- BENICASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 2003.
- BENICASA, M. M. P. **Análise de Crescimento de Plantas (noções básicas)**. Jaboticabal. FUNEP. 2004. 42p.
- BIDINGER FR, YADAV OP AND WELTZIEN E. 2009. Genetic improvement of pearl millet for the arid zone of northwestern India: lessons from two decades of collaborative **ICRISAT-ICAR research**. *Exp Agr* 45(1): 107-115.
- BLACKMAN, V.H. **The compound interest law and plant growth**. *Ann. Bot.*, 33:353- 60, (1919)
- BORREANI, G. AND TABACCO, E. 2010. The relationship of silage temperature with the microbiological status of the face of corn silage bunkers. **Journal of Dairy Science**, 93:2620-2629
- BOUMAN, B.A.M.; VAN KEULEN, H.; VAN LAAR, H.H.; RABBINGE, R. **The 'School of de Wit' crop growth simulation models: a pedigree and historical overview**. *Agricultural Systems*, Amsterdam, v. 52, p.171- 198, 1996.

BRISKE, D.D; RICHARDS, J.H. **Plant responses to defoliation: a physiological, morphological and demographic evaluation.** In: BEDUNAH, D.J.; GOSEBEE, R.E. (eds). *Wildland Plants: physiological geology and developmental morphology.* Denver, Colorado: Society of Range Management, 1995. p. 635-710 .

BRODY, S. **Bioenergetics and growth. With special reference to the efficiency complex in domestic animals.** New York: Reinhold Publishing Co., 1945.

CASTRO, P. R. C.; BERGAMASHI, H.; SILVEIRA, J. A. G.; MARTINS, P. F. S. **Desenvolvimento comparado de três cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp).** Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, n. 41, p. 555-84. 1984.

CORSI, M.; NASCIMENTO JR, D. **Princípios de fisiologia e morfologia de plantas forrageiras aplicadas no manejo das pastagens.** In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C. de FARIA, V.P. de (eds.). *Pastagens: fundamentos da exploração racional.* Piracicaba. FEALQ, 1986. p. 11-37.

COSTA, N. C. A. **O conceito de estrutura em Ciência, in Boletim Sociedade Paranaense de Matematica** 2º Série, vol.8 (1987). DETMANN, E.; SOUZA, M.A.; VALADARES FILHO, S.C. (Eds.) **Métodos para análise de alimentos.** Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012. 214p.

CRAMER, M. D., HAWKINS, H. J., AND VERBOOM, G. A. (2009). The importance of nutritional regulation of plant water flux. *Oecologia* 161, 15–24. doi: 10.1007/s00442-009-1364-3

CZEDIK-EYSENBERG, A., ARRIVAUULT, S., LOHSE, M. A., FEIL, R., KROHN, N., ENCKE, B., NUNES-NESE, A., FERNIE, A. R., LUNN, J. E., SULPICE, R., STITT, M. (2016). The Interplay between carbon availability and growth in different zones of the growing maize leaf. *Plant Physiology*, 172, 943–967.

DI FONZO, N.; MOTTO, M.; MAGGIORE, T.; SABATINO, R.; SALAMINI, F. 1982. N-

uptake, translocation and relationships among N-related traits in maize as affected by genotype. **Agronomie**, 2:789-796.

DIOUF, O.; BROU, Y.C.; DIOUF, M.; SARR, B.; EYLETTERS, M.; ROY-MACAULEY, H.; DELHAYE, J.P. 2004. Response of Pearl Millet to nitrogen as affected by water déficit. **Agronomie**, 24:77–84. DOI: 10.1051/agro:2004001.

DOURADO NETO, D.; TERUEL, D.A.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; FRIZZONE, J.A.; BACCHI, O.O.S. Principles of crop modeling and simulation. I. Uses of mathematical models in agriculture science. *Scientia Agricola*, v.55, p.46-50, 1998.

DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C.; SANTOS, F. G. dos. **Fisiologia da planta de milho.**

Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 2003. 16 p. (Embrapa-CNPMS. Circular Técnica, 28).

EMBRAPA CLIMA TEMPERADO. **FORAGEIRAS- espécies para a Região Sul do Brasil.** Brasília, DF. 2006. Disponível em <<https://www.embrapa.br/clima-temperado/forageiras>> Acesso em 01 de fev de 2020.

EMBRAPA. **Cultivo do Milheto.** Sistema de Produção, 3. 2016.

Disponível

em:https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdepro

[ducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=8101&p_r_p_-996514994_topicoId=9018](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaoalf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=8101&p_r_p_-996514994_topicoId=9018) Acesso em 01 de fev 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) - **Embrapa Milho e**

Sorgo; Fisiologia da Produção de Sorgo. 2015. Brasília, DF.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) - **Embrapa Milho**
e

Sorgo; Sistemas de Produção, 3 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 1ª edição Set./2009.

EUCLIDES, V. P.B.; VALLE, C. B.; MACEDO, M. C. M.; ALMEIDA, R. G.; MONTAGNER, D. B.; BARBOSA, R. A. 2010. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 39:151-168. Doi: 10.1590/S1516-35982010001300018.

FREIRE, L. F., BALIEIRO, F. C., ZONTA, E., ANJOS, L. H. C., PEREIRA, M. G., LIMA, E., GUERRA, J. G. M., FERREIRA, M. B. C., LEAL, M. A. A., CAMPOS, D. V. B., POLIDORO, J. C. (2013) **Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro**. 2. ed. Rio de Janeiro: UFRRJ e EMBRAPA, 430p.

FELIPPE, G. M. **Desenvolvimento**. In: FERRI, M. G. Fisiologia vegetal. São Paulo. EPU, 1985. V.1, p. 1 - 37.

GAO, Y., LYNCH, J. P. (2016). Reduced crown root number improves water acquisition under water deficit stress in maize (*Zea mays* L.). **J. Exp. Bot.** 67, 4545–4557. doi: 10.1093/jxb/erw243

GIVNISH, T. J., AND VERMEIJ, G. J. (1976). **Sizes and shapes of liane leaves**. *Am. Nat.* 110, 743–778. doi: 10.1086/283101.

GOMIDE, J.A.; GOMIDE, C.A.M. **Utilização e manejo de pastagens**. In: MATTOS, W.R.S. et al. (Eds.) A PRODUÇÃO ANIMAL NA VISÃO DOS BRASILEIROS. FEALQ, Piracicaba, p.808- 825, 2001.

GUIMARÃES JR, R. **Potencial Forrageiro, perfil de fermentação e qualidades das silagens de três genótipos de milheto (*Pennisetum glaucum* L. R. Br.)**. 2003.44p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte

JENSEN, K. H., AND ZWIENIECKI, M. A. (2013). **Physical limits to leaf size in tall trees**.

Physical. Rev. Lett. 110, 1–5. doi: 10.1103/PhysRevLett.110.018104

JENSEN, J. K., & WILKERSON, C. G. (2017). Brachypodium as an experimental system for the study of stem parenchyma biology in grasses. **PLoS One**, 12, e0173095. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173095>

JIANG, D., DAI, T., JING, Q., CAO, W., ZHOU, Q., ZHAO, H., ET AL. (2004). **Effects of long-term fertilization on leaf photosynthetic characteristics and grain yield in winter wheat.** *Photosynthetica* 42, 439–446. doi: 10.1023/B:PHOT.0000046164.

JORNADA, J. B. J. et al. **Efeito da irrigação, épocas de corte da forragem e doses de nitrogênio sobre a qualidade de sementes de milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke).** Revista Brasileira de Sementes, Londrina, v. 30, n. 3, p. 10-15, 2008.

KOCH G. W., SILLETT S. C., JENNINGS G. M., DAVIS S. D. (2004). The limits to tree height. *Nature* 428 851–854. 10.1038/nature02417

KÖPPEN, W. 1948. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. **Fondo de Cultura Econômica.** México. 479p.

KROUK, G., CRAWFORD, N. M., CORUZZI, G. M., AND TSAY, Y. F. (2010). Nitrate signaling: adaptation to fluctuating environments. **Curr. Opin. Plant Biol.** 13, 266–273. doi: 10.1016/j.pbi.2009.12.003.

LAMBERS H, CHAPIN F, PONS T (2008). **Plant Physiological Ecology**, Ed 2 Springer, New York, NY.

LEIGH, A., SEVANTO, S., CLOSE, J. D., AND NICOTRA, A. B. (2017). The influence of leaf size and shape on leaf thermal dynamics: does theory hold up under natural conditions? **Plant Cell Environ.** 40, 237–248. doi: 10.1111/pce.12857

LEVITT, J., 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses. Vol. 2: Water, Radiation, Salt and Other Stresses. 607 pp. **Academic Press**, New York.

- LÓPEZ, S.; FRANCE, J.; DHANOA, M.S.; MOULD, F.; DIJKSTRA, J. Comparison of mathematical models to describe disappearance curves obtained using the polyester bag technique for incubating feeds in the rumen. **Journal os Animal Science**, v. 77, p. 1875-1888, 1999.
- LUCCHESI. A. A. **Utilização prática da análise de crescimento vegetal**. Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, v. 41, n. 1, p. 181-202, 1984.
- LYNCH, J. (1995). Root Architecture and Plant Productivity. **Plant Physiol.** 109, 7–13. doi: 10.1104/pp.109.1.7.
- MACHADO, E.C. **Metabolismo fotossintético do carbono: plantas tipo C3, C4 e CAM**. O Agrônômico, Campinas, v. 40, p.5-13, 1988.
- MAGALHÃES, A. C. N. **Análise quantitativa do crescimento**. In: FERRI, M. G. Fisiologia vegetal. São Paulo, EPU, 1985. V.1, p.363 - 50.
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2003. 23 p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 22).
- MALTI, R.K., AND BIDINGER, F.R. 1981. Growth and development of the pearl millet plant. Research Research Bulletin no.6. Patancheru, A.P., India: **International Crops Research Institute for the SemiArid Tropics**.
- MCKINLEY, B., ROONEY, W., WILKERSON, C., & MULLET, J. (2016). Dynamics of biomass partitioning, stem gene expression, cell wall biosynthesis, and sucrose accumulation during development of Sorghum bicolor. **Plant Journal**, 88, 662–680. <https://doi.org/10.1111/tpj.13269>
- MEDEIROS, S. L. P.; GOSSE, G.; CHARTIER, M.; MANFRON, P. A. Ajuste do módulo de produção de matéria seca no modelo CERESsorghum para simulação da cultura do sorgo

sacarino. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.8, n.2, p.223-229, 2000.

- MEIER, I. C., AND LEUSCHNER, C. (2008). **Leaf size and leaf area index in *Fagus sylvatica* forests: competing effects of precipitation, temperature, and nitrogen availability.** *Ecosystems* 11, 655–669. doi: 10.1007/s10021-008-9135-2
- MENDONÇA, J. C., FREITAS, R. M., AGUIAR, D. A., SOUSA, E. F., MUNIZ, R. A., ESTEVES, B. S. (2011). **Mapeamento das áreas de cana-de-açúcar na região norte fluminense – RJ por uso de técnicas de sensoriamento remoto.** *Eng. Agrícola*, Jaboticabal – SP, v. 31, n. 3, p. 561-571.
- MERTENS, D.R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, 80:1463-1481.
- MINOCHA, J. L. Pearl millet cytogenetics. In: GUPTA, P. K.; TSUCHIVA. Chromosome engineering in plants genetics. **Amsterdam: Elsevier**, 1991. p. 599-611.
- MOREIRA, M. A. 2005 **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**, 3ª Ed., Viçosa, 320 p.
- MURRAY, S. C., SHARMA, A., ROONEY, W. L., KLEIN, P. E., MULLET, J. E., MITCHELL, S. E., & KRESOVICH, S. (2008). Genetic improvement of sorghum as a biofuel feedstock: I. QTL for stem sugar and grain nonstructural carbohydrates. **Crop Science**, 48, 2165. <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.01.0016>.
- NIINEMETS, Ü., AND KULL, K. (1994). Leaf weight per area and leaf size of 85 Estonian woody species in relation to shade tolerance and light availability. **For. Ecol. Manage.** 70, 1–10. doi: 10.1016/0378-1127(94)90070-1
- NIINEMETS, Ü., PORTSMUTH, A., AND TOBIAS, M. (2006). Leaf size modifies support biomass distribution among stems, petioles and mid-ribs in temperate plants. **New Phytol.** 171, 91–104. doi: 10.1111/j.1469-8137.2006.01741.x
- PAUL, C.L. **Aspectos fisiológicos del crecimiento y desarrollo del sorgo.** In: PAUL, C.L.

Agronomia del sorgo Patancheru: ICRISAT, 1990. p 43-68.

PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E. G.; AUMONDE, T.Z.; VILLELA, F.A. 2015. Plant growth analysis and seed vigor expression: effects of soil waterlogging during rye plant development. **Acta Botanica Brasilica**, 29:1-7. doi: 10.1590/0102-33062014abb3574.

PEIXOTO, C.P.; PEIXOTO, M. de F. da S.P. **Dinâmica do crescimento vegetal**. In: CARVALHO, C. A. L. de; DANTAS, A.C.V.L.; PEREIRA, F.A. de C.; SOARES, A.C.F.; MELO FILHO, J.F. de; OLIVEIRA, G.J.C. de. **Tópicos em ciências Agrárias**. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2009. p. 39-53

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. **Análise quantitativa do crescimento de vegetais**. Campinas. Instituto Agrônômico. Campinas, 1987. 33 p. (IAC-Boletim Técnico n. 114).

PESSOA, M.C.P.Y.; LUCHIARI JUNIOR, A.; FERNANDES, E.N.; LIMA, M.A. **Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para a análise de impactos ambientais das atividades agrícolas**. Brasília, EMBRAPA, 1997, 44p.

PILAU, F.G; **Saldo de radiação da copa de laranja num pomar e de renques de cafeeiro: medidas e estimativas**. Piracicaba, 2005. 92p.

POORTER, L. 2001. Light-dependent changes in biomass allocation and their importance for growth of rain forest tree species. **Functional Ecology**, 15: 113–123.

REIS, G. G.; MULLER, M. W. **Análise de crescimento de plantas - mensuração do crescimento**. Belém, CPATU, 1978. 35p.

RENTSCHLER, I., 1974. **Electronenmikroskopische Untersuchungen an wachsuberdeckten Spaltöffnungen**. *Planta* 117, 153-61.

RITCHIE, S.; HANWAY, J. J. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1989. 21 p. (Special Report n. 48).

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Plant physiology**. Belmont: Wadsworth. 1992.

SINOQUET, H.; ANDRIEU, B. The geometrical structure of plant canopies: characterization and direct measurement methods. In: VARLET-GRANCHER, C.; BONHOMME, R.; SINOQUET,

H. Crop structure and light microclimate: Characterization and applications. Paris: INRA Editions, 1993. p. 131-158.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. 2014. **Plant Physiology and Development**. 6^o edition. Oxford University Press, Oxford, UK, 761p.

TEIXEIRA, F.A; AMIN, W.G.; PAULA, M.S. Avaliação da produtividade das silagens de girassol, milho, sorgo e milheto em diferentes espaçamentos. **Nucleus**, v. 6, p. 1-14, 2009.

TOZER W. C., RICE B., WESTOBY M. (2015). Evolutionary divergence of leaf width and its correlates. **Am. J. Bot.** 102 367–378. 10.3732/ajb.1400379

TRAORE, M. SULLIVAN, C. Y.; ROSOWSKI, J. R.; LEE, K. W. (1989). Comparative Leaf Surface Morphology and the Glossy Characteristic of Sorghum, Maize, and Pearl Millet. **Annals of Botany** 64, 447-453.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO –UFRRJ. 2018. Dados Climáticos e

Precipitação Volumétrica. Disponível em <http://campuscg.ufrj.br/precipitacao-pluviometrica/>
Acesso em: 10 de fev. de 2020.

VARLET-GRANCHER, C.; GOSSE, G.; CHARTIER, M.; SINOQUET, H.; BONHOMME, R.;

ALLIRAND, J. M. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. *Agronomie, Paris*, v. 9, p. 419-439, 1989.

WRIGHT, I. J., DONG, N., MAIRE, V., PRENTICE, I. C., WESTOBY, M., DÍAZ, S., ET AL. (2017). **Global climatic drivers of leaf size**. *Science*. 357, 917–921. doi: 10.1126/science.aal4760.

YEOH H.; BADGER, M.R.; WATSON, L. **Variations in Km (CO₂) of Ribulose-1- 5- Biphosphate Carboxylase among grasses**. *Plant Physiology*: v. 66, p.1110- 1112, 1980.