

DANILO SILVA AMARAL

**PRODUÇÃO DE FORRAGENS SOB INFLUÊNCIA DE FONTES
ALTERNATIVAS DE NUTRIENTES, UMIDADE E LUMINOSIDADE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

RIO PARANAÍBA
MINAS GERAIS - BRASIL
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Rio Paranaíba**

T

Amaral, Danilo Silva, 1993-

A485p
2019

Produção de forragens sob influência de fontes alternativas de nutrientes, umidade e luminosidade / Danilo Silva Amaral. – Rio Paranaíba, MG, 2019.

vi, 25f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: André Mundstock Xavier de Carvalho.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. *Brachiaria brizantha*. 2. Capim vaquero. 3. Irrigação deficitária controlada. 4. Pós de rocha. I. Universidade Federal de Viçosa. Instituto de Ciências Agrárias. Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal). II. Título.

633.202

DANILO SILVA AMARAL

**PRODUÇÃO DE FORRAGENS SOB INFLUÊNCIA DE FONTES
ALTERNATIVAS DE NUTRIENTES, UMIDADE E LUMINOSIDADE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

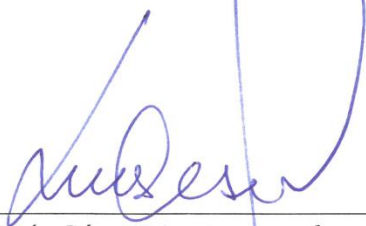
APROVADA: 12 de junho de 2019.



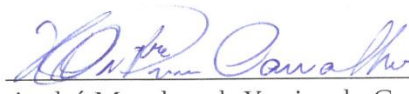
Marcelo Ferreira Fernandes



Alberto Carvalho Filho



Luís César Dias Drumond
(Coorientador)



André Mundstock Xavier de Carvalho
(Orientador)

*Aos meus pais Rosângela e
Clodoaldo pelo amor, confiança e
companheirismo.*

Dedico,

AGRADECIMENTOS

A Deus nosso Pai e criador, pelas infinitas bênçãos...

À Universidade Federal de Viçosa através dos técnicos administrativos Marcelo, Vinícius, Jader, Paulo, Bruno e Danilo pela ajuda e contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão de bolsa de estudos.

Aos membros que constituem a banca Alberto e Marcelo, agradeço por sua disponibilidade e sugestões para a melhoria deste trabalho.

Aos orientadores André e Luís pelos ensinamentos e contribuições para crescimento profissional e pessoal, meu muito obrigado.

Aos meus pais Clodoaldo e Rosangela e minha irmã Daniela pelo incentivo, amor, carinho e confiança.

A meu grande amor Cíntia Cármen pelo carinho, incentivos, apoio e companheirismo durante nossa jornada de estudos.

Aos avós Raulina, José e Sonilda (*in memoriam*), Maria Aparecida e Maria Elisabeth, tios e tias, Amélio e Rosenilda, Alexandre e Eliene, Rogério e Cristina, Ednaldo e Francielle, Leonardo e Cristiane pelo apoio e carinho.

SUMÁRIO

Resumo	v
Abstract.....	vi
Referências bibliográficas	1
1. Capítulo I - Biodisponibilização de nutrientes por subprodutos da mineração	2
1. 1. Introdução	2
1. 2. Material e métodos	4
1.2.1 Caracterização geral	4
1.2.2 Avaliações e análises estatísticas	5
1. 3. Resultados e discussão	6
1. 4. Conclusões.....	10
1. 5. Referências bibliográficas	10
2. Capítulo II - Efeitos da luminosidade e umidade do solo sobre a produção de pastagem ...	13
2.1 Introdução	14
2.2 Material e métodos	16
2.2.1. Caracterização geral	16
2.2.2 Avaliações e análises estatísticas	17
2.3 Resultados e discussão	19
2.4 Conclusões.....	22
2.5 Referências bibliográficas	23
Conclusões gerais	25

RESUMO

AMARAL, Danilo Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, *Campus* Rio Paranaíba, junho de 2019. **Produção de forragens sob influência de fontes alternativas de nutrientes, umidade e luminosidade.** Orientador: André Mundstock Xavier de Carvalho. Coorientador: Luís César Dias Drumond.

A produção de pastagens requer recursos como fertilizantes e água e estes estão sob permanente pressão para um uso mais racional ou para a busca por novas fontes de nutrientes. Este estudo objetivou avaliar a biodisponibilização total de K, P, Na, Ca, Mg e Si a partir de subprodutos de mineração e seu potencial em promover melhorias em atributos químicos do solo. Adicionalmente, objetivou-se avaliar a produção de pastagem submetida à variação da luminosidade e à restrição hídrica. Foi conduzido um experimento em casa de vegetação, em esquema fatorial 5x2, sendo cinco subprodutos de mineração potencialmente fontes de potássio (pós de gnaise, microgabro, fonolito, glauconito e controle) e duas espécies forrageiras (*Brachiaria brizantha* cv. marandú e *Stylosanthes capitata* x *S. macrocephala*). Os solos receberam os pós de rocha, calcário e esterco bovino nas doses de 12; 0,75 e 40 t ha⁻¹, respectivamente. Adicionalmente, foi instalado um estudo amostral no campo em uma área de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, cultivada com pastagem, em parcelas de 12 m². Foi utilizado esquema fatorial 2x2x5, com três repetições, composto por duas espécies forrageiras (*Brachiaria brizantha* cv. marandú e *Cynodon dactylon* cv. vaquero), dois níveis de luminosidade (parcelas cobertas ou não com sombrite 50 %), e cinco lâminas de irrigação por gotejamento subsuperficial (0, 30, 60, 80 e 100 % da evapotranspiração). A potencial biodisponibilização total dos nutrientes foi determinada através da soma dos conteúdos dos nutrientes presentes na matéria seca total e o que restou no solo ao final do experimento. O fonolito forneceu K e Si em curto prazo, e o gnaise apresentou-se como fonte de P e Mg. O estilosantes foi mais eficiente em biodisponibilizar K e Mg, e a braquiária Si. A lâmina ideal para as forrageiras foi de 85% da ETo para braquiária e de 80% para vaquero e a espécie mais produtiva foi a braquiária.

ABSTRACT

AMARAL, Danilo Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, *Campus* Rio Paranaíba, June, 2019. **Forage production under the alternative sources influence of nutrients, soil moisture and luminosity.** Advisor: André Mundstock Xavier de Carvalho. Co-advisor: Luís César Dias Drumond.

Pasture production requires resources such as fertilizer and water and these are under constant pressure for more rational use or for the search for new nutrient sources. This study aimed to evaluate the total bioavailability of K, P, Na, Ca, Mg and Si from mining by-products and their potential to promote improvements in soil chemical attributes. In addition, the aim of this study was to evaluate the pasture production subject to variation of luminosity and water restriction. A greenhouse experiment was carried out in a 5x2 factorial scheme, with five potential by-products of potash (powders of gneiss, microgabro, phonolite, glauconite and control) and two forage species (*Brachiaria brizantha* cv. marandú and *Stylosanthes capitata* x *S. macrocephala*). The soils received the powders of rock, limestone and bovine manure in the doses of 12; 0.75 and 40 t ha⁻¹, respectively. Additionally, a sample study was installed in the field in an area of Hapludox, cultivated with pasture, in plots of 12 m². A 2x2x5 factorial scheme was used, with three replications, composed of two forage species (*Brachiaria brizantha* cv. marandú and *Cynodon dactylon* cv. vaquero), two levels of luminosity (plots covered or not with shade 50%), and five irrigation (0, 30, 60, 80 and 100% of the evapotranspiration). The potential total bioavailability of the nutrients was determined by the sum of the contents of the nutrients present in the total dry matter and what remained in the soil at the end of the experiment. The phonolite provided K and Si in the short term, and gneiss presented as a source of P and Mg. The *Stylosanthes* was more efficient in bioavailability of K and Mg, and the *Brachiaria* Si. The ideal blade for forage was 85% of ETo for *Brachiaria* and 80% for vaquero grass, and the most productive species was brachiaria.

INTRODUÇÃO GERAL

As plantas forrageiras apresentam grande importância sobre a produção animal, sendo a mais econômica fonte de alimento para a atividade (Raupp e Fuganti, 2014). A intensificação de um sistema de produção demanda recursos financeiros para investir em tecnologia, mão de obra e insumos, como por exemplo, irrigação, calagem e adubação para atingir altos níveis de produção animal a pasto. Essas técnicas permitem elevar a produtividade, porém, demandam recursos não renováveis, necessitando de uma racionalização de seu uso, contrapondo ao uso indiscriminado que muitos técnicos e produtores empregam.

A busca por fontes alternativas de nutrientes e por melhoria na eficiência da irrigação torna-se cada vez mais importante. No que se refere à fertilização do solo, o uso de resíduos de mineração (rochagem) é uma opção promissora, visto seu potencial de fornecer uma ampla faixa de nutrientes de liberação lenta às culturas (Straaten, 2006; Medeiros, 2013). Além disso, a rochagem permite mitigar impactos ambientais gerados pela deposição desses resíduos de forma não adequada nas mineradoras.

É imprescindível buscar cada vez mais a eficiência no uso da água de irrigação (Selborne, 2001), seja na escolha e dimensionamento do sistema de irrigação, seja estudando as diversas formas de perda da água antes e depois de atingir o solo, e ainda, buscando entender a relação entre as condições edafoclimáticas e a utilização da água pelas plantas, para então chegar-se a um manejo racional desse recurso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MEDEIROS, F.P. Rochagem: um novo paradigma na agricultura. **Anais do II Congresso Brasileiro de rochagem**. Ed. THEODORO, S.F, MARTINS, E.S, FERNANDES, M.M, CARVALHO, A.M.X. 396-397 p., 2013.
- RAUPP, F.M., FUGANTI, E.N. Gerenciamento de custos na pecuária de corte: Um comparativo entre a engorda de bovinos em pastagem e em confinamento. **Custos e Agronegócio online**, v. 10, 282-316 p., 2014.
- STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 78, n. 4, 731-747 p., 2006.
- SELBORNE, L. A ética do uso da água doce: um levantamento. **Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (UNESCO)**. Série meio ambiente, v. 3, 80p, 2001.

1. CAPÍTULO I - BIODISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES POR SUBPRODUTOS DA MINERAÇÃO

RESUMO

O processo de intensificação da produção animal em pastagens demanda a utilização de fertilizantes, que constitui parcela significativa do custo de produção, sendo que o emprego de fontes alternativas de nutrientes como os pós de rocha, pode ser viável econômico e ambientalmente, além de solucionar o problema das mineradoras que acumulam estes pós, evitando assim um descarte inadequado deste resíduo. Este contexto evidencia a necessidade de investigar o potencial desses subprodutos de mineração como fontes de nutrientes em pastagens. Assim, este estudo objetivou avaliar a biodisponibilização total de K, P, Na, Ca, Mg e Si a partir de subprodutos de mineração e seu potencial em promover melhorias em atributos químicos do solo. Foi conduzido um experimento em casa de vegetação, no delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5x2, sendo cinco subprodutos de mineração (gnaiss melanocrático, microgabro, fonolito, glauconito e controle) e duas espécies forrageiras (braquiária e estilosantes), com quatro repetições. As unidades experimentais foram vasos de 10 dm³ preenchidos com Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, nos quais foram aplicados os pós de rocha, calcário e esterco bovino nas doses de 12; 0,75 e 40 t ha⁻¹, respectivamente. Foram analisadas a parte aérea da forrageira quanto a produção de forragem e os teores de Si, P, Ca, Mg, K e Na, e o conteúdo destes nutrientes no solo. A biodisponibilização total foi determinada através da soma dos conteúdos dos nutrientes presentes na matéria seca total e o que restou no solo ao final do experimento. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Student-Newman-Keuls (SNK) a 5% de probabilidade. O fonolito forneceu K e Si em curto prazo, e o gnaiss apresentou-se como fonte de P e Mg. O estilosantes foi mais eficiente em biodisponibilizar K e Mg, e a braquiária Si.

1. 1. INTRODUÇÃO

Conforme Oliveira (2014), Bielorrússia, Canadá e Rússia figuravam em 2013 como os maiores detentores das reservas de sais de potássio, produzindo cerca de 60 % do total mundial. De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2015), o Brasil é um grande importador de potássio fertilizante, apresentando um consumo aparente de 5,7 milhões e produção de 0,3 milhões de t (toneladas).

Zhang e Zhang (2007) elaboraram previsões a nível mundial do uso de fertilizantes para o período de 2010 a 2030, estimando um consumo *per capita* de 34,6 kg anualmente. O consumo mundial de fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos poderá aumentar em 37,5; 25,8; e 21,2 %, respectivamente, o que corresponderá a 2,2 trilhões de t em 2030, um aumento de 32 % em relação ao nível atual.

Ribeiro et al. (2010), apontam que as rochas silicáticas geralmente se diferem quanto a quantidade e disponibilidade de nutrientes em função da sua composição mineralógica, por isso têm sido avaliados seus potenciais como fontes alternativas para o suprimento nutricional das plantas. Tal potencialidade foi validada pela Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013 que incluiu os remineralizadores como insumos agrícolas, definindo-os como “material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, ou promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas e atividade biológica do solo”.

Oliveira (2009) aponta que os silicatos ricos em potássio, como o feldspato potássico, a moscovita e a leucita, que contém entre 10 e 20 % de K_2O e são abundantes na crosta, não constituem importantes fontes de potássio, pois, não são solúveis em água e suas estruturas não se rompem com facilidade por meios artificiais. Por isso, o aproveitamento de rochas ígneas como fonte de potássio limita-se a áreas de exploração de outras substâncias, onde o potássio é obtido como subproduto.

Theodoro e Almeida (2013) relatam que o processo de exploração mineral gera um volume considerável de subprodutos que geralmente são descartados. No entanto, estes subprodutos, conhecidos como pós de rocha ou remineralizadores, podem ser convertidos em solução para um crítico desafio da agricultura, que é a dependência de fertilizantes potássicos do mercado externo. Essa integração entre os setores pode ser viável econômica, se o valor deste material for inferior ao do calcário, e ambientalmente, desde que seja conhecida a composição química dos pós de rocha, evitando contaminação de áreas agrícolas por elementos tóxicos. Para Rodrigues (2016) a rochagem é uma prática agrícola tida como de baixos custos e impacto ambiental. Porém, inerentemente a característica multinutriente dos minerais silicatados, os pós de rochas possuem solubilização lenta e teores relativamente baixos de cada nutriente.

Em estudo de Sávio et al. (2011), foram avaliadas a acumulação de silício e a produção de forrageiras, tendo sido observado aumento na produção de matéria fresca e seca, e ainda no conteúdo de Si nas folhas dos capins *Brachiaria* e *Panicum*, fato de importância quando se utiliza pós de rochas silicáticas. Braga et al. (2004) apontam que o acúmulo máximo de

nutrientes para braquiária ocorre aos 121 dias após a semeadura, sendo aproximadamente 218 kg ha⁻¹ de K, valor maior do que o acumulado pelo mombaça (164 kg ha⁻¹ de K), sugerindo, devido a maior extração de K, uma maior capacidade biointempérica da braquiária em relação ao mombaça.

Dessa forma, o objetivo neste trabalho foi avaliar o potencial de uso de fontes alternativas de nutrientes em forrageiras. Especificamente, buscou-se avaliar a biodisponibilização total de K, P, Na, Ca, Mg e Si no sistema solo-planta a partir de pós de rochas e o potencial destes materiais em promover o crescimento das plantas e alterar atributos químicos do solo.

1. 2. MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL

A pesquisa foi conduzida em casa de vegetação na Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba – MG. O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 2, sendo cinco subprodutos de mineração potencialmente fontes de potássio (gnaisse melanocrático, microgabro, fonolito, glauconito e controle sem pó de rocha) e duas espécies forrageiras (braquiária marandú e estilosantes), com quatro repetições. As unidades experimentais foram vasos de 10 dm³ preenchidos com uma amostra de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico cuja análise consta na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química do solo utilizado

pH	P	P-rem	S		K	Ca	Mg	Al	H+Al	S.B	T
	mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³						
5,2	2,8	14,5	6,0		0,09	0,5	0,2	0,4	2,4	0,79	3,19
B	Cu	Fe	Mn	Zn		Areia	Argila	Silte	M.O.	C.O.	V
	mg dm ⁻³					g dm ⁻³					%
0,65	1,7	67	5,1	1,2		14	72	914	33	19,1	24,8

pH em H₂O; P em Mehlich-1; P-rem: Fósforo remanescente; S.B.: Soma de Bases; T: Capacidade de troca de cátions total; M.O.: Matéria orgânica do solo; C.O.: Carbono orgânico do solo; V%: Saturação por bases.

O pó de gnaisse utilizado é derivado de resíduos de britagem em mina localizada em Muzambinho (MG), que pertence ao complexo Varginha-Guaxupé. O pó de fonolito é proveniente de resíduos de britagem de Poços de Caldas (MG), sendo pertencente ao Complexo Alcalino de Poços de Caldas. O pó de microgabro é oriundo de resíduos de britagem de Paula

Freitas (PR), sendo pertencente à Formação Serra Geral. O pó de glauconito é um subproduto da extração de glauconito para outros fins industriais, sendo proveniente do grupo Bambuí na região da Serra da Saudade (MG). A composição destes remineralizadores é apresentada na Tabela 2.

Uma dose de 12 t ha⁻¹ dos pós de rocha, o que corresponde a 60 g por vaso, foi misturada ao solo previamente passado por peneira de 4 mm de abertura. Essa dose, considerada alta, foi utilizada a fim de verificar se haveria formação de minerais estáveis no solo. Foram adicionados calcário, esterco bovino e ureia (adubação de cobertura) nas doses 0,75; 40 e 0,22 t ha⁻¹, respectivamente. Após 40 dias sob irrigação foi realizado o transplante das forrageiras e o experimento foi conduzido por mais 190 dias. Neste período, sempre que as plantas atingiram 30 cm de altura a parte aérea foi cortada a 12 cm a partir do nível de solo.

Tabela 2. Litoquímica total dos pós de rochas utilizados. Teores expressos em óxidos para os elementos majoritários

Pós de rocha	CaO	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	SiO ₂	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	Zn	Mo	Cu	B	Mn
	 dag kg ⁻¹							 mg kg ⁻¹				
Gnaise	6,14	3,27	3,82	3,78	53,70	0,93	16,8	62	0,71			
Fonolito	1,50	8,69	0,20	6,74	54,66	0,05	9,56	125	65	-	-	-
Microgabro	10,79	0,51	6,70	2,10	51,13	0,12	13,99	-	-			1466,3
Glauconito	0,07	8,43	2,57	0,11	63,90	0,07	15,76	151	< 3			617,4

1.2.2 AVALIAÇÕES E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Entre os parâmetros de crescimento, foi avaliada apenas a massa seca da parte aérea. O material vegetal foi cortado a 12 cm do solo, picotado e seco em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 h, para determinação da matéria seca (MS) e produção de forragem (kg ha⁻¹ de MS). Subamostras foram passadas em moinho tipo Willey equipado com peneira de 1,15 mm de abertura. O material moído foi submetido à digestão nitro-perclórica conforme a metodologia de Silva (2009) e à digestão peroxídica em NaOH (Elliott e Snyder, 1991). Foram determinados os teores de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica, K e Na via espectrofotometria de emissão de chama (Silva, 2009) e Si e P via espectrofotometria de absorção molecular (Elliott e Snyder, 1991; Donagema et al. 2011).

Após a retirada das plantas, foi feita amostragem do solo de cada vaso. As amostras foram secas ao ar e passadas por peneira de 2 mm. O Si disponível no solo foi extraído em ácido acético 0,5 mol L⁻¹ e determinado por espectrometria de absorção atômica pelo método azul (Leite, 1997). Os elementos Ca e Mg, extraídos por KCl 1 mol L⁻¹, foram determinados por absorção atômica. Os elementos K e Na, extraídos em solução Mehlich 1 na relação solo:extrator de 1:10 foram determinados por espectrometria de chama conforme Donagema et al. (2011). O

P, também extraído em Mehlich-1, foi determinado por espectrometria de absorção molecular. A biodisponibilização total foi determinada através da soma dos conteúdos dos nutrientes presentes na matéria seca total e o que restou biodisponível no solo ao final do experimento.

Os dados foram submetidos aos testes de Levene, Jarque-Bera (Jarque e Bera, 1980) e ESD Generalizado (Rosner, 1983) para avaliação das condições de homogeneidade das variâncias, normalidade dos resíduos e presença de outliers, respectivamente. Em seguida, foram submetidos à análise de variância. As médias do experimento foram comparadas pelo teste Student-Newman-Keuls (SNK) a 5 % de probabilidade, utilizando o software SPEED Stat (Carvalho e Mendes, 2017).

1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos para todos os parâmetros avaliados, com interação não-significativa entre os fatores apenas para produtividade e biodisponibilização de Si e P (Tabela 3) na Tabela 5 houve diferenças significativas para todos os parâmetros avaliados.

Tabela 3. Valores de F da ANOVA e coeficientes de variação (C.V.) dos parâmetros produtividade e biodisponibilização total de potássio, fósforo, cálcio, magnésio, silício e sódio em vasos submetidos a aplicação de diferentes remineralizadores e cultivados com braquiária marandú e estilosantes

	K	P	Ca	Mg	Si	Na	Produtividade
Espécie	39,72**	2,5 ^{Ns}	21,39**	127,68**	384,11**	0,03 ^{Ns}	1496,25**
Remineralizador	15,44**	117,44**	1,68 ^{Ns}	10,84**	1408,38**	1025,58**	0,41 ^{Ns}
Interação	1,5~	0,6 ^{Ns}	1,76~	2,35 ⁰	0,36 ^{Ns}	3,19*	0,85 ^{Ns}
C.V. (%)	6,98	11,58	10,77	15,59	6,46	11,01	6,99

**, *, ⁰, ~: significativo a 1, 5, 10 ou 25 % de probabilidade de erro α . ^{Ns}: Não Significativo.

O estilosantes biodisponibilizou mais K que a braquiária, exceto em relação à testemunha (Tabela 4). Segundo Moreira et al. (2013), a absorção de potássio pelo estilosantes é semelhante a da braquiária marandú. Entretanto Schaefer et al. (2010) aponta que a disponibilidade de K no solo é maior na presença de estilosantes que em outras forrageiras devido a maior capacidade de acidificação da rizosfera, tal como evidencia-se na Tabela 6. O

fonolito apresentou maior biodisponibilização de K que os demais remineralizadores (Tabelas 4 e 6), sendo que os demais pós de rochas não diferiram da testemunha.

Tabela 4. Biodisponibilização total (solo + planta) de potássio, fósforo, cálcio, magnésio, silício e sódio em vasos submetidos a aplicação de diferentes remineralizadores e cultivados com capim braquiária e estilosantes

Potássio (g vaso ⁻¹)				Magnésio (g vaso ⁻¹)			
	Braquiária		Estilosantes		Braquiária		Estilosantes
Gnaisse	2,15	Bb	2,55 Ab	Gnaisse	0,59	Ba	1,03 Aa
Microgabro	2,09	Bb	2,58 Ab	Microgabro	0,46	Bab	0,88 Ab
Fonolito	2,65	Ba	3,14 Aa	Fonolito	0,48	Bab	0,66 Ac
Glauconito	2,12	Bb	2,45 Ab	Glauconito	0,28	Bb	0,74 Abc
Testemunha	2,28	Ab	2,39 Ab	Testemunha	0,40	Bb	0,74 Abc

Fósforo (g vaso ⁻¹)				Silício (g vaso ⁻¹)			
	Braquiária		Estilosantes		Braquiária		Estilosantes
Gnaisse	0,11	Aa	0,11 Aa	Gnaisse	1,19	Ab	0,59 Bb
Microgabro	0,05	Ab	0,05 Ab	Microgabro	1,11	Ab	0,56 Bb
Fonolito	0,05	Ab	0,05 Ab	Fonolito	3,76	Aa	3,23 Ba
Glauconito	0,05	Ab	0,04 Ab	Glauconito	1,04	Ab	0,53 Bb
Testemunha	0,05	Ab	0,04 Ab	Testemunha	1,10	Ab	0,50 Bb

Cálcio (g vaso ⁻¹)				Sódio (mg vaso ⁻¹)			
	Braquiária		Estilosantes		Braquiária		Estilosantes
Gnaisse	23,45	Aa	21,49 Aa	Gnaisse	0,57	Ab	0,45 Ab
Microgabro	25,37	Aa	20,27 Ba	Microgabro	0,44	Ab	0,47 Ab
Fonolito	24,25	Aa	18,05 Ba	Fonolito	3,22	Ba	3,46 Aa
Glauconito	20,59	Aa	19,74 Aa	Glauconito	0,50	Ab	0,40 Ab
Testemunha	23,60	Aa	20,51 Aa	Testemunha	0,47	Ab	0,39 Ab

Médias seguidas por uma mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de SNK a 5 % de probabilidade de erro.

Para fósforo biodisponível não foi observada diferença entre as espécies forrageiras, semelhante ao encontrado por Moreira et al. (2013), Guerra et al. (2004) analisando fontes fertilização fosfatada não verificaram incrementos na produção de *Brachiaria decumbens*, corroborando com os dados desta pesquisa. O gnaisse destacou-se como fonte de P, o que pode ser explicado devido a maior disponibilidade deste elemento nesta rocha (0,93% de P₂O₅) que nas demais. Houve diferença entre braquiária, em relação ao estilosantes, associada com pó de microgabro ou fonolito, em relação à biodisponibilização de Ca, tal como em estudo de Fragstein et al. (1988), no qual relatam que o fonolito e o basalto foram os pós de rocha que mais liberaram Ca. No entanto, Moreira et al. (2013) não encontraram diferença na acumulação de cálcio e magnésio entre capim marandú e estilosantes, sugerindo existe que

para uma maior biodisponibilização de um nutriente depende da relação entre a planta e o pó de rocha.

Tabela 5. Valores de F da ANOVA e coeficientes de variação (C.V.) dos parâmetros produtividade e disponibilidade dos nutrientes potássio, fósforo, cálcio, magnésio, silício e sódio no solo submetidos a aplicação de diferentes remineralizadores e cultivados com braquiária marandú e estilosantes

	K	P	Ca	Mg	Si	Na
Espécie	53,55**	353,5**	0,08 ^{Ns}	507,46**	84,27**	6,96*
Remineralizador	61,71**	35,45**	26,27**	8,69**	2323,65**	1249,33**
Interação	17,93**	79,49**	44,37**	14,44**	35,62**	8,83**
C.V. (%)	11,29	18,16	11,91	18,85	6,51	11,06

**, *, ⁰, ~: significativo a 1, 5, 10 ou 25 % de probabilidade de erro α . ^{Ns}: Não Significativo.

Tabela 6. Disponibilidade total de nutrientes no solo, potássio, fósforo, cálcio, magnésio, silício e sódio em vasos submetidos a aplicação de diferentes remineralizadores e cultivados com capim braquiária e estilosantes

Potássio (g vaso⁻¹)				
	Braquiária		Estilosantes	
		mm		mm
Gnaisse	1,48 Bc	1,72 c	1,97 Ab	1,72 c
Microgabro	2,09 Ab	2,02 b	1,95 Ab	2,02 b
Fonolito	2,65 Aa	2,58 a	2,51 Aa	2,58 a
Glauconito	0,64 Bd	1,21 d	1,79 Ab	1,21 d
Testemunha	0,78 Bd	1,28 d	1,77 Ab	1,28 d
mm	1,53 B		2,00 A	

Fósforo (mg vaso⁻¹)				
	Braquiária		Estilosantes	
		mm		mm
Gnaisse	8,54 Bb	55,17 a	101,81 Aa	55,17 a
Microgabro	0,54 Bb	23,59 c	46,65 Ab	23,59 c
Fonolito	0,54 Bb	23,09 c	45,64 Ab	23,09 c
Glauconito	31,91 Aa	32,95 b	33,99 Ac	32,95 b
Testemunha	36,89 Aa	35,64 b	34,40 Ac	35,64 b
mm	15,68 B		52,49 A	

Cálcio (g vaso⁻¹)				
	Braquiária		Estilosantes	
		mm		mm
Gnaisse	4,71 Bc	11,75 c	18,80 Aa	11,75 c
Microgabro	25,37 Aa	21,17 a	16,97 Ba	21,17 a
Fonolito	24,25 Aa	19,49 a	14,73 Ba	19,49 a
Glauconito	13,88 Ab	15,22 b	16,57 Aa	15,22 b
Testemunha	16,84 Ab	16,96 b	17,07 Aa	16,96 b
mm	17,01 A		16,83 A	

Magnésio (mg vaso⁻¹)				
	Braquiária		Estilosantes	
		mm		mm
Gnaisse	97,27 Bb	554,94 a	1012,60 Aa	554,94 a
Microgabro	4,66 Bb	437,18 a	869,69 Ab	437,18 a
Fonolito	4,81 Bb	331,77 b	658,73 Ac	331,77 b
Glauconito	264,39 Ba	497,94 a	731,48 Abc	497,94 a
Testemunha	386,02 Ba	560,69 a	735,35 Abc	560,69 a
mm	151,43 B		801,57 A	

Silício (g vaso⁻¹)				
	Braquiária		Estilosantes	
		mm		mm
Gnaisse	0,74 Ac	0,66 c	0,58 Bb	0,66 c
Microgabro	1,11 Ab	0,83 b	0,55 Bb	0,83 b
Fonolito	3,77 Aa	3,50 a	3,22 Ba	3,50 a
Glauconito	0,42 Ad	0,47 d	0,52 Ab	0,47 d
Testemunha	0,41 Ad	0,45 d	0,49 Ab	0,45 d
mm	1,29 A		1,07 B	

Sódio (mg vaso⁻¹)				
	Braquiária		Estilosantes	
		mm		mm
Gnaisse	0,00 Bc	228,22 c	456,45 Ab	228,22 c
Microgabro	442,75 Ab	454,47 b	466,19 Ab	454,47 b
Fonolito	3315,19 Aa	3385,85 a	3456,51 Aa	3385,85 a
Glauconito	499,71 Ab	452,10 b	404,50 Ab	452,10 b
Testemunha	472,10 Ab	433,18 b	394,26 Ab	433,18 b
mm	945,95 B		1035,58 A	

Médias seguidas por uma mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de SNK a 5 % de probabilidade de erro.

O estilosantes apresentou maior capacidade de biodisponibilizar Mg que a braquiária. Conforme Silveira et al. (2010) e Santos et al. (2012), isso ocorre devido ao estilosantes apresentar maior poder de acidificação do solo (devido a fixação biológica de nitrogênio) do que a braquiária, promovendo a liberação do magnésio das fontes minerais.

A braquiária apresentou maior capacidade biointempérica de Si que o estilosantes. Resultados semelhantes foram encontrados por Fonseca et al. (2009), Sarto et al. (2015) e Tavares et al. (2018). Conforme Castro e Crusciol (2013) uma maior disponibilidade de Si favorece a absorção de Si pelas plantas acumuladoras como a braquiária. O fonolito apresenta maior intemperismo que os demais pós de rocha (Fragstein et al. 1988), porém, neste estudo a maior disponibilidade de Si não promoveu uma maior produção de matéria seca como o encontrado por Tokura et al. (2007).

Fragstein et al. (1988), Resende et al., (2006); Manning, (2010) relatam que rochas ricas em feldspato, como o fonolito, são eficientes em aumentar a disponibilidade de K, mas, podem trazer outros elementos indesejáveis para o solo como o Na. Neste experimento, o pó de rocha que mais liberou sódio foi o fonolito, sendo sua biodisponibilização maior em estilosantes que em braquiária, sendo que este está disponível no solo (Tabela 6). Uma alta liberação de sódio pelo fonolito também foi encontrado por Tavares et al. (2018).

Na Tabela 7 é possível observar a produção de forragem sendo que braquiária produziu mais massa seca que o estilosantes, não sendo observada diferença entre os pós de rocha avaliados.

Tabela 7. Produção de massa de forragem (kg ha⁻¹ de MS), em função da aplicação de diferentes pós de rochas, pelo capim braquiária e estilosantes em um período de 190 dias

	Braquiária		Estilosantes	
Gnaisse	10.950	Aa	4.190	Ba
Microgabro	11.402	Aa	4.323	Ba
Fonolito	10.725	Aa	4.436	Ba
Glauconito	10.775	Aa	4.522	Ba
Testemunha	10.956	Aa	4.501	Ba

Médias seguidas por uma mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de SNK a 5 % de probabilidade de erro.

Foi observado um acréscimo de 149,4% na produção da braquiária em relação ao estilosantes. Braz et al. (2005) também encontraram uma maior produção da braquiária marandú em relação ao estilosantes, sendo que o estilosantes produziu apenas 15 % do produzido pela braquiária. Nesta pesquisa não houve diferença entre os pós de rocha

aplicados na resposta da produção de forragem corroborando com Guerra et al. (2004), Santana et al. (2010), Benício et al. (2013) e Silva et al. (2014).

1. 4. CONCLUSÕES

Alguns pós de rochas testados apresentam-se como fontes efetivas de nutrientes no curto prazo, em especial de K e Si para o fonolito e, em menor escala, de P e Mg para o gnaiss.

A capacidade de promover biointemperismo difere entre plantas forrageiras, sendo o estilosantes mais capaz de liberar K e Mg e o capim braquiária mais capaz de liberar Si das rochas.

A braquiária é a espécie mais produtiva que estilosantes associadas ao uso de remineralizadores de solo.

Os subprodutos de mineração alteram os atributos químicos do solo, para uma liberação mais rápida dos nutrientes depende da combinação entre o pó de rocha e a planta.

1. 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENÍCIO, L.P.F., LIMA, S.O., SANTOS, V.M. Avaliação da aplicação de diferentes doses de rejeito de rocha fosfática no desenvolvimento do capim piatã na ausência e presença de calagem. **Magistra**, v. 25, n. 3/4, p.221-234, 2013.

BRAGA, A., MARQUES, P., KLIEMANN, H., PFEILSTICKER, F. Acumulação de nutrientes em folhas de milheto e dos capins braquiária e mombaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v.3, n.2, 83-87 p., 2004.

BRASIL. Diário Oficial da União de 11 de dezembro de 2013. Lei nº 12.890/13. **Disponível em:** http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12890.html
Acesso: 05/10/2017.

BRAZ, A. J. B. P., KLIEMANN, H. J., & DA SILVEIRA, P. M. Produção de fitomassa de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho distroférrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 35, n. 1, p. 55-64, 2005.

CARVALHO, A.M.X., MENDES, F.Q. SPEED Stat: a minimalista and intuitive spreadsheet program for classical experimental statistics. **Anais da 62ª Reunião anual da região brasileira da sociedade internacional de biometria**, 2017.

- CASTRO, G.S.A., CRUSCIOL, C.A.C. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. **Geoderma**. v.195-196, p.234-242, 2013.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, DNPM. Sumário mineral, v. 35, 135 p., 2015.
- DONAGEMA, G.K., CAMPOS, D.V.B., CALDERANO, S.B., TEXEIRA, W.G., VIANA, J.H.M. Manual de Métodos de Análise de Solos. 3 ed. **Embrapa Solos**. Rio de Janeiro, 230 p., 2011.
- ELLIOTT, C.L., SNYDER, G.H. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.39, 1118-1119 p., 1991.
- FONSECA, I.M., PRADO, R.M., VIDAL, A.A., NOGUEIRA, T.A.R. Efeito da escória, calcário e nitrogênio na absorção de silício e na produção do capim-marandu. **Bragantia**. v. 68, n. 1, p. 221-232, 2009.
- FRAGSTEIN, P., PERTL, W., VOGTMANN, H. Verwitterungsverhalten silikatischer Gesteinsmehle unter Laborbedingungen. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**. v. 151, n.2, p. 141-146, 1988
- GUERRA, J.G.M., ALMEIDA, D.L., SILVESTRE, M.F, SOUTO, S.M. Efeito da adubação com fontes de fósforo na produção sazonal de *Brachiaria decumbens* Stapf. **Pasturas Tropicales**. v. 26, n. 1, p. 6-14, 2004.
- JARQUE, C.M, BERA, A.K. Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. **Economics Letters**. v. 6. 255-259 p., 1980.
- LEITE, P.C. Interação silício-fósforo em Latossolo roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação. 87p. **Dissertação** – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.
- MANNING, D.A.C. Mineral sources of potassium for plant nutrition: A review. **Agron. Sustainable Develop.** v. 30, p. 81-294, 2010.
- MOREIRA, J.F.M., COSTA, K.A.P., SEVERIANO, E.C., SIMON, G.A., CRUVINEL, W.S., BENTO, J.C. Nutrientes em cultivares de *Brachiaria brizantha* e estilosantes em cultivo solteiro e consorciado. **Archivos de Zootecnia**, v. 62, n. 240, p. 513-523, 2013.
- OLIVEIRA, L.A.M. Potássio. **Departamento Nacional de Produção Mineral**, 94-95 p., In: Sumário mineral, 2009.
- OLIVEIRA, L.A.M. Potássio. **Departamento Nacional de Produção Mineral**, 94-95p., Sumário mineral, 2014.

- RESENDE, A.V., MARTINS, E.S., SENA, M.C., MACHADO, C.T.T., KINPARA, D.I., OLIVEIRA FILHO, E.C. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas "in natura" na agricultura brasileira. **Esp. Geog.** v. 9, p. 17-40, 2006.
- RIBEIRO, S.L.D., SANTOS, A.R.D., SOUZA, L.F.D.S., SOUZA, J. S. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, 891-897 p., 2010.
- RODRIGUES, L.M.S. Atributos químicos e densidade de cargas elétricas em um Latossolo sob adição de sienito nefelínico. – **Monografia** – Universidade de Brasília, 45p., 2016.
- ROSNER, B. Percentage points for a generalized ESD many-outlier procedure. **Technometrics**. v. 25, 165-172p., 1983.
- SANTANA, G. S., MORITA, I. M., BIANCHI, P. P. M., FERNANDES, F. M., ISEPON, O. J. Atributos químicos, produção e qualidade do capim braquiária em solos corrigidos com calcário e escória silicatada. **Revista Ceres**. v. 57, n. 3, p.377-382, 2010.
- SANTOS, G. G., SILVEIRA, P. M., MARCHÃO, R. L., PETTER F. A., BECQUER, T. Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em Latossolo do cerrado. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** v. 16, n. 11, p. 1171-1178, 2012.
- SARTO, M.V.M., LANA, M.C., RAMPIM, L., ROSSET, J.S., WOBETO, J.R. Effects of silicate application on soil fertility and wheat yield. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 36, n. 6, s. 2, p. 4071-4082, 2015).
- SÁVIO, F.L, SILVA, G. C., TEIXEIRA, I.R, BORÉM, A. Produção de biomassa e conteúdo de silício em gramíneas forrageiras sob diferentes fontes de silicato. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 1, 103-110 p., 2011.
- SCHAEFER, P. E., PIZZANI, R., LOVATO, T., GOULART, R. Z., LUDWIG, L. Produção de fitomassa da parte aérea e ciclagem de nutrientes de diferentes sistemas forrageiros. **Revista Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 1, p. 1-8, 2010.
- SILVA, F.C. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes. 2 ed. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, 627p., 2009.
- SILVA, W.B., BARCELOS, F.P., SICHOCKI, D., SILVA, G.M.C. Uso do silicato de cálcio na correção da acidez do solo e no desenvolvimento da *Brachiaria Ruziziensis* L. **Exatas & Engenharia**, v. 10, n.4, p. 1-11, 2014.

- SILVEIRA, P. M., CUNHA P. C. R., STONE L. F., SANTOS, G. G., Atributos químicos de solo cultivado com diferentes culturas de cobertura. **Pesq. Agropec. Trop.** v. 40, n. 3, p. 283-290, 2010.
- TAVARES, L.F., CARVALHO, A.M.X., CAMARGO, L.G.B., PEREIRA, S.G.F., CARDOSO, I.M. Nutrients release from powder phonolite mediated by bioweathering actions. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture.** v. 7, p. 89–98, 2018.
- THEODORO, S.H, ALMEIDA, E. Agrominerais e a construção da soberania em insumos agrícolas no Brasil. **Agriculturas.** v. 10, n. 1, 22-28 p., 2013.
- TOKURA, A. M., NETO, A. E. F., CURI, N., CARNEIRO, L. F., ALOVISI, A. A. Silício e fósforo em diferentes solos cultivados com arroz de sequeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy.** v. 29, n. 1, p. 9-16, 2007.
- ZHANG, W.J., ZHANG, X.Y. A forecast analysis on fertilizers consumption worldwide. **Environmental monitoring and Assessment,** v. 133, n. 1, p. 427-434, 2007.

2. CAPÍTULO II - EFEITOS DA LUMINOSIDADE E UMIDADE DO SOLO SOBRE A PRODUÇÃO DE PASTAGEM

RESUMO

O sistema de irrigação por gotejamento favorece uma irrigação mais eficiente em relação aos demais sistemas, de encontro à necessidade de racionalização do uso da água em sistemas de produção intensiva. No entanto, é necessário conhecer a lâmina de irrigação que permita uma maior eficiência no uso da água. Diante desse contexto, objetivou-se estudar a produção de pastagem submetida à variação da luminosidade e da lâmina de irrigação. Foi instalado um estudo amostral, em esquema fatorial 2x2x5, com três repetições, composto por duas espécies forrageiras (braquiária marandú e capim vaquero), dois níveis de luminosidade (parcelas cobertas ou não com sombrite 50%), e cinco lâminas de irrigação por gotejamento subsuperficial (0, 30, 60, 80 e 100% da evapotranspiração). As forrageiras foram cultivadas sobre Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, em parcelas com 12 m². Foram avaliadas a massa, a densidade, a taxa de acúmulo e a capacidade de suporte das forrageiras. Os dados foram submetidos à análise de variância, e o comportamento das doses de água foi avaliado por meio de análise de regressão. As espécies foram afetadas negativamente pela condição de sombra, sendo que a braquiária foi mais sensível a este tratamento. A lâmina ideal para as

forrageiras foi de 85% da ETo para braquiária e de 80% para vaquero e a espécie mais produtiva foi a braquiária marandú.

2.1 INTRODUÇÃO

Segundo a Agência Nacional de Águas – ANA (2017) o Brasil tem potencial para irrigar 76,2 milhões de hectares, sendo que atualmente conta com 11,2 milhões de hectares irrigados. A agência aponta ainda uma perspectiva de até 2030 aumentar essa área em 3,14 milhões de hectares, cerca de 28 % da área atual.

Em todo o mundo há uma demanda crescente por água, o que aumenta a necessidade de um manejo racional da irrigação, de modo a assegurar a integridade e a manutenção dos recursos hídricos (Bucks, 1995). De encontro a essa necessidade está a irrigação por gotejamento, caracterizada pela aplicação de pequenas quantidades de água, em alta frequência, diretamente na zona radicular, proporcionando maiores produtividades e eficiência no uso da água (Nir, 1982; Dasberg e Bresler, 1985). Conforme Nogueira et al. (2000), os gotejadores localizados abaixo da superfície mostram-se mais eficientes na manutenção da umidade no solo que a localização superficial, tornando-o ainda mais interessante quanto à economia de água.

O déficit hídrico pode ocasionar um impacto negativo substancial no crescimento e desenvolvimento das plantas (Lecoeur e Sinclair, 1996), pois, à medida que o solo seca, torna-se mais difícil a absorção de água pelas plantas, devido ao aumento de sua força de retenção ao solo (Bergamaschi, 1992). A irrigação deficitária controlada, ou seja, irrigar abaixo do nível de máxima produção, pode maximizar a eficiência do uso da água e ainda promover economia de recursos (Pereira et al., 2002). Porém, nessas situações a planta precisa balancear a conservação da água em seus tecidos com a assimilação de CO₂ para a produção de carboidratos (Taiz e Zeiger, 2012). De acordo com McCree e Fernández (1989) e Taiz e Zeiger (2012), quando há déficit hídrico excessivo tem-se como respostas mais comuns de plantas o decréscimo da produção de área foliar, fechamento dos estômatos, aceleração da senescência e abscisão de folhas.

Segundo Santos e Carlesso (1998) a reversão das alterações no comportamento vegetal devido à restrição hídrica depende do genótipo, da duração e severidade da restrição e do estágio de desenvolvimento da planta. Quando as plantas são expostas a situações de déficit hídrico exibem, frequentemente, respostas fisiológicas que resultam de modo indireto,

na conservação da água no solo, como se estivessem economizando para períodos posteriores. Isso foi observado nos estudos de Saeed e El-Nadi (1998) e Kang et al. (2002), que nos tratamentos com maior umidade apresentavam maior evapotranspiração, e nos tratamentos sob moderada restrição hídrica houve maior eficiência no uso da água. Fereres e Soriano (2006) apontam que existe potencial para melhorar a produtividade da água em muitas culturas, porém não há informações suficientes para definirmos o melhor déficit e qual a estratégia de irrigação. Estes ainda apontam que em geral o déficit de irrigação está entre 60 e 100 % da evapotranspiração potencial.

As plantas tem seu desenvolvimento influenciado também pela temperatura do solo. Isso se deve ao efeito da temperatura sobre as reações químicas do solo, a liberação de nutrientes e a fisiologia vegetal. De acordo com Gasparim et al. (2005), faixas adequadas de temperatura do solo, otimizam a atividade funcional das raízes, a velocidade e a duração do crescimento das plantas. Durante a germinação e emergência, a temperatura do solo é determinante, e seu efeito se soma à temperatura do ar durante o desenvolvimento fenológico e o crescimento da planta (Bergamaschi e Guadagnin, 1993; Gasparin et al., 2005; Monteiro, 2009).

Pedreira et al. (2009) verificaram que a influência da temperatura do solo está relacionada com o hábito de crescimento das forrageiras. Espécies de maior porte ou que apresentam crescimento imaturo do colmo são pouco afetadas pela temperatura do solo. Porém, para plantas de pequeno porte, ressaltam que este fator tem efeito pronunciado sobre o processo de divisão e expansão celular. Nelson e Volenec, (1995) apontam que os gêneros *Cynodon*, *Brachiaria* e alguns *Panicum* de pequeno porte, que apresentam meristema apical próximo ao solo, são mais afetados pela temperatura do solo do que pela do ar. Fica assim evidente, a importância de estudar a relação entre temperatura do solo e do ar, a lâmina de irrigação e a produção de forragem. No entanto, não é possível controlar a temperatura do solo diretamente. Considerando que a temperatura do ar e a incidência de radiação direta são os principais determinantes da temperatura do solo, reduzir a luminosidade tende a reduzir a temperatura do solo.

Assim o objetivo neste trabalho foi estudar os efeitos da luminosidade e da restrição hídrica controlada por irrigação subsuperficial sobre a produção de forragem dos capins vaquero e braquiária.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL

Um estudo observacional foi instalado na área experimental da Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba – MG. O clima da região é caracterizado como Cwa de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, e o solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.

O estudo foi conduzido em esquema fatorial 2x2x5, sendo duas espécies forrageiras (*Brachiaria brizantha* cv. marandú e *Cynodon dactylon* cv. vaquero), cinco lâminas de irrigação subsuperficial (0, 30, 60, 80 e 100 % da evapotranspiração) e dois níveis de luminosidade (parcelas cobertas ou não com sombrite 50 %). O primeiro e o segundo fator não puderam, por razões operacionais, ser perfeitamente casualizados (Figura 1). O sombrite foi utilizado para tentar promover uma variação na temperatura do solo, devido a menor luminosidade. O estudo contou com três repetições, sendo cada parcela de dimensão de 3 x 4 m totalizando 12 m², e uma adubação correspondente a 1000, 100 e 1000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, P e K, respectivamente, buscando uma produção esperada de massa de forragem de 50 t ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca (MS) conforme Drumond e Aguiar (2005). Sendo a adubação realizada uma vez por ciclo no dia posterior ao corte do ciclo anterior.

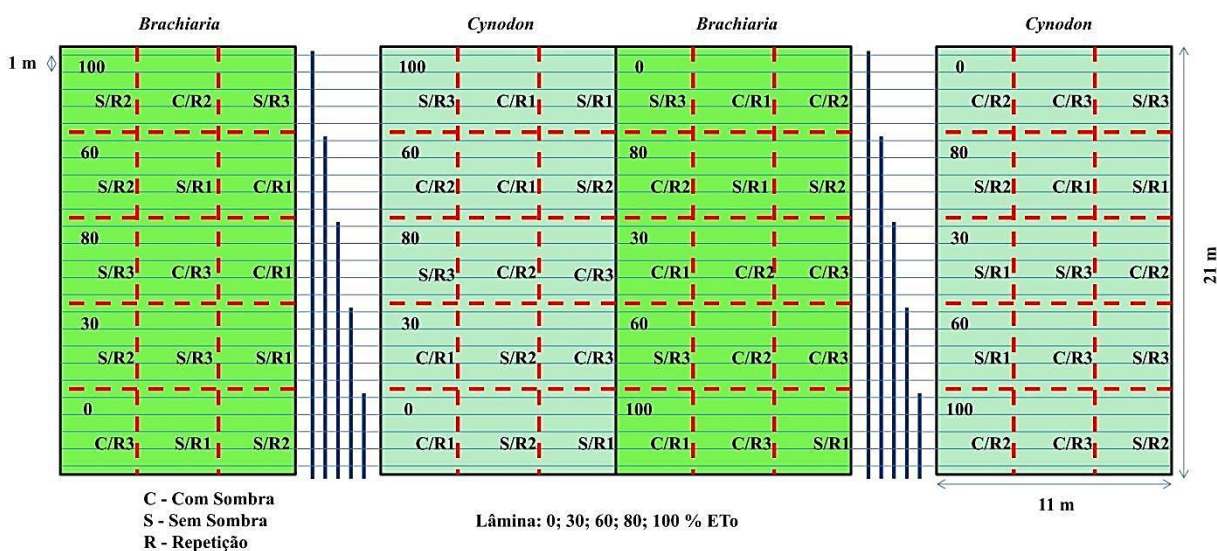


Figura 1. Croqui do estudo observacional com estrutura fatorial 2x2x5.

Os dados meteorológicos foram obtidos por estação meteorológica automatizada, Davis Vantage Pro 2, instalada ao lado da área experimental, dados do período experimental

demonstrados na Figura 2. As forrageiras foram irrigadas e fertilizadas via gotejamento subsuperficial com emissores à profundidade de 20 cm, espaçados entre si em 30 cm. As fitas gotejadoras são espaçadas em um metro. O solo foi corrigido com base em análise do solo (Tabela 8), utilizando calcário dolomítico calcinado, na dosagem de 2 t ha⁻¹.

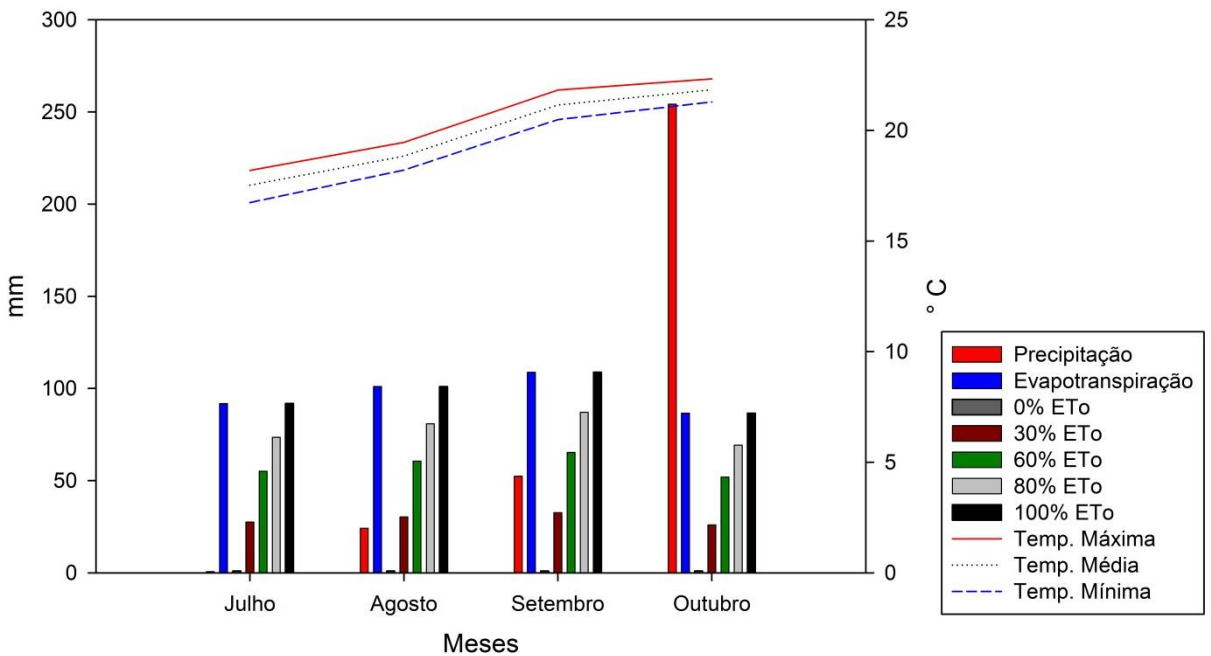


Figura 2. Temperatura mínima, média, máxima, precipitação, evapotranspiração potencial (ETo), lâmina de irrigação (0, 30, 60, 80 e 100% da ETo) e excedente (EXC) de irrigação devido a precipitação no período experimental.

Tabela 8. Análise química do solo do experimento

pH	P	S-SO ₄ ⁻	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S.B
	mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³			
4,8	17,0	9,0	0,14	2,5	0,7	0,05	9,0	9,0
B	Cu	Fe	Mn	Zn	M.O.	C.O.	V	
	mg dm ⁻³				g dm ⁻³		%	
0,23	1,0	31	2,2	1,1	41,0	23,8	27,1	

pH em CaCl₂; P em Resina; S.B.: Soma de Bases; M.O.: Matéria orgânica do solo; C.O.: Carbono orgânico do solo; V%: Saturação por bases.

2.2.2 AVALIAÇÕES E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A temperatura do solo foi determinada na profundidade padrão de 10 cm, conforme o recomendado pela Organização Mundial de Meteorologia - OMM (2014). Segundo a OMM as medidas de temperatura abaixo da superfície do solo são mais precisas do que as aferidas

na superfície, pois, estas sofrem variações rápidas. A capacidade de retenção de calor pelo solo faz com que o tempo de variação da temperatura em função da radiação solar seja de aproximadamente 1 hora. Para aferir a temperatura do solo foi utilizado geotermômetro e as medições foram realizadas sempre as 14h.

A amostragem da massa de forragem foi realizada lançando aleatoriamente em cada unidade experimental um quadrado de 0,25 m². A altura foi aferida e a forragem cortada a 12 cm a partir do nível do solo. A massa foi pesada imediatamente no campo, para obtenção da massa verde, acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas, para determinação do teor de matéria seca conforme metodologia proposta por Gardner (1986).

Após a determinação da massa seca da amostra foram estimadas a massa de forragem (MF), a taxa de acúmulo de forragem (TAF), a densidade da massa de forragem (DMF) e a capacidade de suporte (CS). As análises de temperatura e umidade do solo, e da massa de forragem foram realizadas em quatro ciclos fixos de 28 dias.

As variáveis relacionadas à produção de forragem foram calculadas utilizando as seguintes equações:

$$TAF = \frac{MF}{n} \quad \text{Eq. 1}$$

$$DMF = \frac{MF}{h} \quad \text{Eq. 2}$$

$$CS = \frac{TAF}{OF \times f} \quad \text{Eq. 3}$$

TAF: Taxa de Acúmulo de Forragem (kg ha⁻¹ d⁻¹ de MS)

h: Altura (cm)

MF: Massa de Forragem (kg ha⁻¹ de MS)

CS: Capacidade de Suporte (UA ha⁻¹)

n: número de dias do ciclo (28 dias)

OF: Oferta de Forragem (2,5% do peso vivo)

DMF: Densidade da Massa de Forragem (kg ha⁻¹ cm⁻¹ de MS)

f: eficiência de pastejo (0,5 ou 50%)

Os dados do experimento foram submetidos aos testes de Levene, Jarque-Bera (Jarque e Bera, 1980) e ESD Generalizado (Rosner, 1983) para avaliação das condições de homogeneidade das variâncias, normalidade dos resíduos e presença de outliers, respectivamente. Em seguida, procedeu-se à análise de variância. Quando houve diferença estatística, o comportamento das doses de água foi avaliado por meio de análise de regressão, considerando-se a significância dos modelos e a não-significância da falta de ajuste pelo teste F. Foi utilizado o software SPEED Stat (Carvalho e Mendes, 2017).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observada diferença entre as espécies, braquiária e vaquero, entre as condições sem e com sombra, e entre as lâminas de irrigação, 0, 30, 60, 80 e 100% de reposição da evapotranspiração potencial (ET_o), Capacidade de suporte (CS), Densidade de Massa de forragem (DMF) e Temperatura do solo (TS) conforme Tabela 9.

Tabela 9. Valores de F da ANOVA e coeficientes de variação (C.V.) dos parâmetros capacidade de suporte (CS), densidade de massa de forragem (DMF) e Temperatura do solo (TS)

Fonte de variação	CS	DMF	TS
Espécie	6,63*	221,03**	11,43**
Condição	55,68**	118**	62,66**
Lâmina	9,97**	5,08**	1,54 ^{Ns}
Espécie x Condição	1,21 ^{Ns}	1,35 ^{Ns}	0,27 ^{Ns}
Espécie x Lâmina	1,24 ^{Ns}	4,61**	1,16 ^{Ns}
Condição x Lâmina	0,94 ^{Ns}	2,51 ⁰	0,5 ^{Ns}
Interação tripla	1,33 ^{Ns}	1,15 ^{Ns}	0,73 ^{Ns}
Tratamentos	6,18**	20,72**	4,74**
C.V.(%)	10,32	8,87	1,93

**, *, ⁰, ~: significativo a 1, 5, 10 ou 25 % de probabilidade de erro α . ^{Ns}: Não Significativo.

Os modelos que melhor se ajustaram ao comportamento das variáveis encontram-se na Figura 3. A braquiária apresentou melhor resposta aos tratamentos que o capim-vaquero produzindo, de modo geral 7% mais massa de Forragem (MF). Consequentemente, permitiu maior taxa de acumulo de forragem (TAF) e CS, mesmo com uma DMF 41% menor que a do capim-vaquero. A braquiária produziu cerca de 9% mais MF que vaquero na ausência de sombra. No entanto, Pequeno et al. (2015) não encontraram diferença na produção de MF entre o tifton 85 e braquiária marandú avaliando durante dois anos em condição de sequeiro e irrigado.

Andrade et al. (2012), avaliando a produção de capim-vaquero no verão e outono em Rio Paranaíba-MG, obtiveram uma TAF média de $104 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de MS e uma DMF de $207 \text{ kg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ de MS, valores superiores aos encontrados neste trabalho, que foram $71 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e $51 \text{ kg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ de MS, para TAF e DMF, respectivamente durante as estações inverno-primavera. Paula et al. (2011), encontraram em pastagem de capim-vaquero irrigada, no período primavera-verão, uma produção média de $3,8 \text{ t ha}^{-1}$ de MS, superior a encontrada para a mesma forrageira neste trabalho que foi de $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ de MS, entretanto o modo de coleta utilizado por estes autores foi cortar a forragem rente ao solo já no presente trabalho foi realizada a 12 cm de altura. Os autores relatam uma ainda TAF de $89 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de MS e DMF de $180 \text{ kg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ de MS.

A lâmina de irrigação ideal neste experimento, no período sem chuvas, para a braquiária na ausência de sombra utilizando gotejo subsuperficial foi de 85% da ETo, e para o vaquero foi de 80%. Já na presença de sombra a melhor lâmina é de 50 e 44% da ETo para braquiária e vaquero, respectivamente. Mota et al. (2010) avaliaram a produção de capim-elefante sob doses de nitrogênio e lâminas de irrigação, durante três ciclos de produção e obtiveram melhor produção ($19,3 \text{ t ha}^{-1}$) quando aplicaram lâmina de 100% da ETo, e $500 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N. Representando um acréscimo de 39% na produção de MS em relação ao tratamento sem irrigação com $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N, que produziu $7,5 \text{ t ha}^{-1}$ de MS.

Ambas forrageiras foram influenciadas negativamente pela presença da sombra, na MF, TAF e CS sendo esta redução na ordem de 24,8 e 19,2% para braquiária e vaquero, respectivamente. Na DMF esta redução chegou a 30,9 para braquiária e 26,6 % para vaquero. Conforme Fernández et al. (2004), alterações morfológicas em forrageiras sombreadas podem permitir à planta tolerar diferentes níveis de sombra. Assim, a capacidade de uma espécie de desenvolver um ou mais mecanismos de aclimação determina sua capacidade de adaptação e produção.

Rodrigues et al. (2005), testaram lâminas de 20, 50 e 100% da evaporação de tanque classe A, e descrevem que não houve diferença significativa na produção do capim tifton 85 em função da lâmina, tendo registrado produção média de 18 t ha^{-1} de MS no período de agosto a dezembro de 2001, em Neossolo Quartzarênico. Possivelmente a água aplicada nas maiores lâminas não ficou retida no solo, visto que esse tipo de solo apresenta textura arenosa.

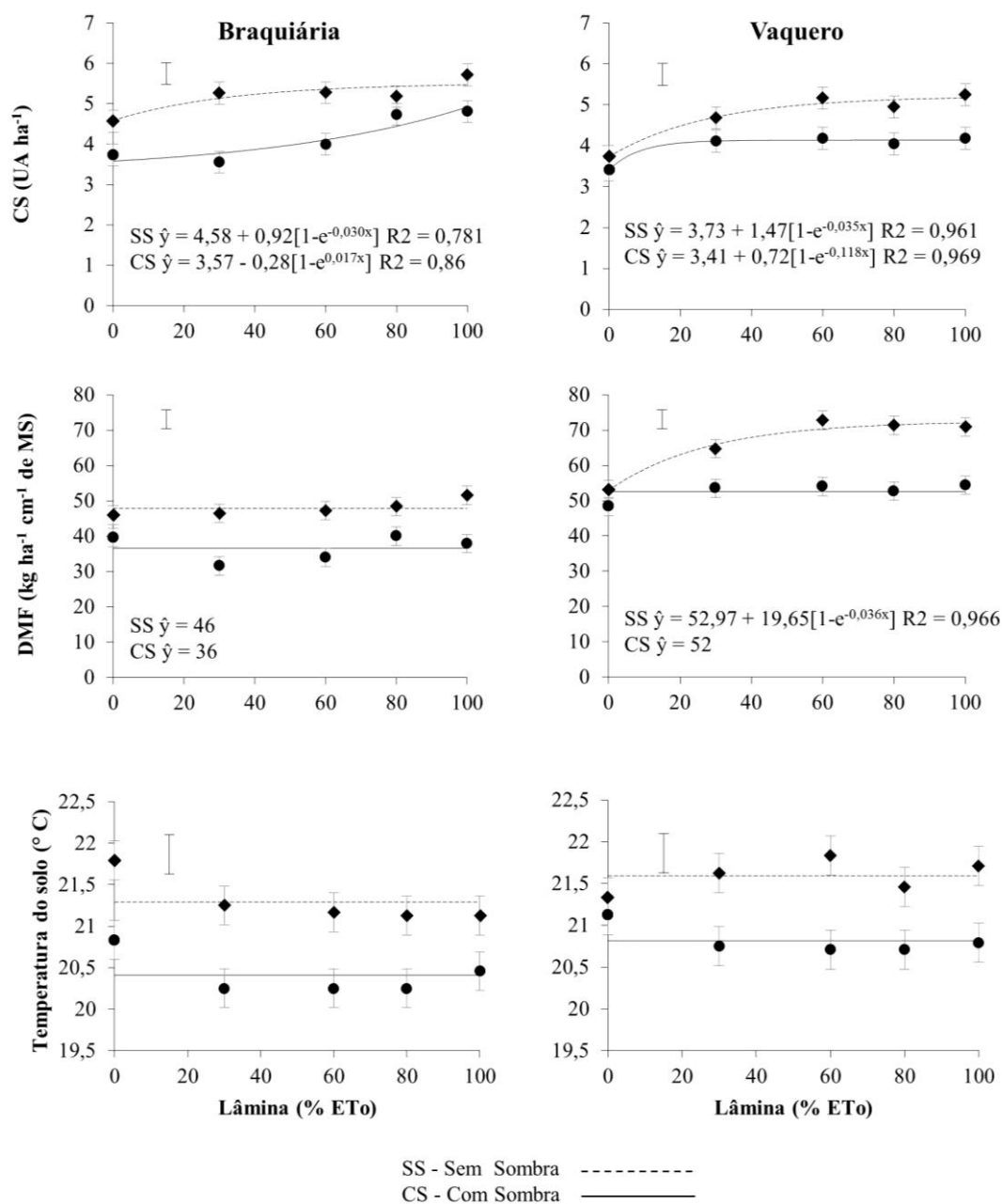


Figura 3. Produção ou Massa de Forragem (MF), Taxa de acúmulo de forragem (TAF), Capacidade de Suporte (CS) e Densidade de Massa de forragem (DMF), Evapotranspiração potencial (ETo), MS: Matéria Seca. UA: Unidade Animal (450 kg de peso vivo).

Carvalho et al. (2002) relatam resultados semelhantes, observando que os capins marandú e tifton 68 apresentaram menor produção sob sombreamento natural de 60% no verão. O marandú produziu na sombra, em média, 2,06 e a pleno sol 3,6 t ha⁻¹ de MS, porém, os autores ressaltam que melhores resultados podem ser obtidos utilizando menor sombreamento. Diferentemente, em estudo de Castro et al. (2009), avaliando a resposta do capim braquiária ao

sombreamento, foi observado que a produção de forragem não foi influenciada até a taxa de 45% de sombreamento, que foi a maior porcentagem testada. Os autores relatam uma produção de 6462 kg ha⁻¹ de MS, para braquiária no período de junho de 2007 a fevereiro de 2008, em Minas Gerais, produção inferior à encontrada neste trabalho, que foi de 6728 kg ha⁻¹ em quatro ciclos, julho a outubro de 2018.

Andrade et al. (2004), relatam que o sombreamento artificial amenizou o estresse hídrico durante o período seco e diminuiu a estacionalidade de produção das gramíneas forrageiras testadas, entre elas a braquiária marandú. No entanto, neste trabalho utilizando irrigação esse efeito não foi verificado, pois os tratamentos com 0 e 30% de reposição da ETo na condição de sombra produziram 35% menos massa de forragem em relação a sem sombra para o capim braquiária. Nestas mesmas condições não foi detectada diferença para o capim vaquero.

A capacidade de suporte média durante o período experimental para braquiária, na lâmina de 100% de reposição da ETo foi de 5,7 e 4,8 na condição de pleno sol e sombra, respectivamente. Já para o vaquero foi de 5,2 e 4,1 nas condições sem e com sombra.

Houve variação da temperatura do solo em função da condição com/sem sombra (Figura 3), sendo que a temperatura foi menor na presença do sombrite 50%. A temperatura do solo também foi influenciada pela forrageira, observando-se que na presença do capim vaquero esta foi mais alta, por ter dossel baixo, em relação a braquiária.

Esses resultados evidenciam a essencialidade do ajuste da lâmina de irrigação para cada forrageira, solo e sistema de irrigação utilizada, visando uma utilização eficaz da água e demais recursos na produção de forragem. Em Latossolo, para capim braquiária e vaquero a pleno sol, irrigados via gotejamento subsuperficial, as lâminas que permitiram maior produção foram 85 e 80%, respectivamente. Estas lâminas correspondem a 95% da produção máxima das forrageiras nas condições avaliadas.

2.4 CONCLUSÕES

A braquiária apresenta melhor resposta quando associada à condição de pleno sol é com lâmina de 85% de reposição da evapotranspiração potencial durante o período sem chuvas.

O vaquero é menos influenciado pelo sombreamento, e apresenta melhor desenvolvimento com lâmina de 80% de reposição da evapotranspiração potencial, em pleno sol.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada. 86 p., 2017.
- ANDRADE, A. S., DRUMOND, L. C. D., APPELT, M. F., MOREIRA, D. D., DE ARAÚJO, F. C., GOD, P. I. V. G. Crescimento e composição bromatológica de Tifton 85 e Vaquero em pastagens fertirrigadas. **Global Science and Technology**, v.5, n.2, 2012.
- ANDRADE, C. M. S., VALENTIM, J. F., DA COSTA CARNEIRO, J., VAZ, F. A. (2004). Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 3, 263-270, 2004.
- BERGAMASCHI, H. Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas. **Agrometeorologia Aplicada à Irrigação. Porto Alegre**. Editora da Universidade/UFRGS. 25-32 p., 1992.
- BERGAMASCHI, H, GUADAGNIN, MR. Modelos de ajuste para médias de temperatura do solo, em diferentes profundidades. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 95-99 p., 1993.
- BUCKS, D.A. Historical development in microirrigation. **In: International microirrigation congress, 5**, Orlando, Florida, Proceedings... 1-5p, 1995.
- CARVALHO, A.M.X., MENDES, F.Q. SPEED Stat: a minimalist and intuitive spreadsheet program for classical experimental statistics. **Anais da 62ª Reunião anual da região brasileira da sociedade internacional de biometria**, 2017.
- CARVALHO, M. M., FREITAS, P.V., XAVIER, D. F. Início de florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob condição de sombreamento natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n.5, p.717-722, 2002.
- CASTRO, C. R. T., PACIULLO, D. S. C., GOMIDE, C. A. M., MÜLLER, M. D., JÚNIOR, É. R. N. Características agrônômicas, massa de forragem e valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.60, n. 19, 2009.
- DASBERG, S., BRESLER, E. Drip irrigation manual. **International Irrigation Center**, 95 p., 1985.
- DRUMOND, L.C.D; AGUIAR, A.P.A. Irrigação de Pastagem. 1 ed. Uberaba, 2005. 210 p.
- FERERES, E., SORIANO, M.A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. **Journal of experimental botany**, v. 58, n. 2, 147-159p., 2006.
- FERNÁNDEZ, M.E.; GYENGE, J.E.; SCHLICHTER, T.M. Shade acclimation in the forage grass *Festuca pallens*: biomass allocation and forage orientation. **Agroforestry Systems**, v.60, p.159-166, 2004.

- GARDNER A.L. Técnicas de pesquisa em pastagens e aplicabilidade de resultados em sistemas de produção. Brasília, **EMBRAPA – CNPGL**, 197 p., 1986.
- GASPARIM, E., PRANDINI, R.R, LIMA SILVA, S de, DALLACORT, R, GNOATTO, E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**. v. 27, n. 1, 107-114 p., 2005.
- JARQUE, C.M, BERA, A.K. Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. **Economics Letters**. v. 6. 255-259 p., 1980.
- KANG, S., ZHANG, L., LIANG, Y., HU, X., CAI, H., GU, B. Effects of limited irrigation on yield and water use efficiency of winter wheat in the Loess Plateau of China. **Agricultural water management**. v. 55, n. 3, 203-216 p., 2002.
- LECOEUR, J, SINCLAIR, T.R. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. **Crop Science**. v. 36, n. 2, 331-335 p., 1996.
- McCREE, K.J., FERNANDEZ, C.J. Simulation model for studying physiological water stress responses of whole plants. **Crop Science**. v. 29, n. 2, 353-360 p., 1989.
- MONTEIRO, J.E.B.A. Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, DF: **Instituto Nacional de Meteorologia**, 530 p., 2009.
- MOTA, V. J. G., REIS, S. D., SALES, E. D., ROCHA JÚNIOR, V. R., OLIVEIRA, F. D., WALKER, S. F., CÓSER, A. C. Lâminas de irrigação e doses de nitrogênio em pastagem de capim-elefante no período seco do ano no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 6, p.1191-1199, 2010.
- NELSON, C.J, VOLENEC, J.J. Environmental and physiological aspects of forage management. In: BARNES, R.F., MILLER, D.A., NELSON, C.J. (Ed.). Forages: An introduction to grassland agriculture. 5. ed. Ames: **Iowa Sate University Press**. v. 1, 55-69 p., 1995.
- NIR, D. Drip irrigation. **Handbook of irrigation technology**. v. 1, 247-298 p., 1982.
- NOGUEIRA, C.C.P., COELHO, E.F., LEÃO, M.C.S. Características e dimensões do volume de um solo molhado sob gotejamento superficial e subsuperficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4 n. 3, 315-320 p., 2000.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE METEOROLOGIA, Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos. N° 8, 1302p., versão atualizada em 2014.
- PAULA C.G., RABELO D.M.L., OLIVEIRA M.C.,DRUMOND L.C.D., SILVA P.R. Parâmetros de crescimento do capim Vaquero em pastagem intensiva do cerrado mineiro. **Anais... IV Congresso de Forragicultura e Pastagens**, 2011.
- PEDREIRA, C.G.S., TONATO, F., LARA, M.A.S. Forrageiras *Brachiaria*, *Panicum* e *Cynodon*. 425 - 447p. In: Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção

- agrícola. organizador MONTEIRO, J.E.B.A. Brasília, DF: **Instituto Nacional de Meteorologia**, 530 p., 2009.
- PEQUENO, D. N. L., PEDREIRA, C. G. S., SOLLENBERGER, L. E., DE FARIA, A. F. G., SILVA, L. S. Forage accumulation and nutritive value of brachiariagrasses and tifton 85 bermudagrass as affected by harvest frequency and irrigation. **Agronomy Journal**. v. 107 n.5, p. 1741-1749, 2015.
- PEREIRA, L.S., OWEIS, T., ZAIRI, A. Irrigation management under water scarcity. **Agricultural Water Management**, v.57: p.175-206, 2002.
- RODRIGUES N, HENRIQUE B; MAGALHÃES, J.A., LOPES E.A. Irrigação e adubação nitrogenada em três gramíneas forrageiras no Meio-Norte do Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36, n. 3, p. 274-278, 2005.
- ROSNER, B. Percentage points for a generalized ESD many-outlier procedure. **Technometrics**. v. 25, 165-172p., 1983.
- SAEED, I.A.M, EL-NADI, A.H. Forage sorghum yield and water use efficiency under variable irrigation. **Irrigation science**, v.18, n. 2, 67-71p., 1998.
- SANTOS, R.F, CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 2, n. 3, 287-294 p., 1998.
- TAIZ, L., ZEIGER E. Plant Physiology. California: **Artimed**. 5º edição, 954p., 2012.

CONCLUSÕES GERAIS

Os pós de rochas testados mostraram-se fontes efetivas de nutrientes no curto prazo, especialmente de K e Si para o fonolito e, em menor escala, de P e Mg para o gnaiss. As forrageiras estilosas e braquiária apresentaram diferentes capacidades em promover biointemperismo, sendo o estilosas mais capaz de liberar K e Mg e o capim braquiária propiciou maior liberação de Si das rochas.

A braquiária apresentou melhor resposta quando associada à condição de pleno sol e a lâmina de 85% de reposição da evapotranspiração potencial durante o período sem chuvas. O capim vaquero foi menos influenciado pelo sombreamento, e apresentou melhor desenvolvimento com a lâmina de 80% de reposição da evapotranspiração potencial, em pleno sol, durante o período sem chuvas.