

Avaliação da produção de *Panicum maximum* cv. Tanzânia sob diferentes níveis de oferta ambiental

E. R. Detomini*, R. O. C. Monteiro**, e R. D. Coelho***

Introdução

A implementação de modelos em programas computacionais vem se tornando cada vez mais disponível à aplicação de uso dos agropecuaristas, por exemplo, para adequar um genótipo a um ambiente e para balizamento de época de semeadura, permitindo a simulação de diversos atributos de interesse agrônomo. Desta maneira, fundamentadas nas relações de energia entre os componentes planta e atmosfera, e muitas vezes compreendendo também os atributos de solo, torna-se possível estimar a produção de um genótipo em um ambiente específico. Os modelos representam a melhor forma de sintetizar o conhecimento sobre os diferentes componentes de um sistema ao sumarizar dados e transferir resultados de pesquisa aos usuários (France e Thornley, 1984).

Embora a radiação solar e a temperatura sejam igualmente importantes em estudos de ecofisiologia, esses atributos desempenham papéis diferentes na produção de forragem. A radiação solar funciona como a principal responsável pelo desencadeamento dos processos da conversão do CO₂ atmosférico em biomassa

vegetal (Heemst, 1986), ao passo que a temperatura está associada à eficiência dos processos metabólicos envolvidos nessa conversão, pelo fato de alterar a plasticidade de diversas enzimas da planta, fazendo com que estas enzimas se tornem mais flácidas ou mais rígidas (Bonhomme, 2000).

Dos principais nutrientes minerais existentes, o nitrogênio é aquele que apresenta a maior resposta à produção das forrageiras, pois estimula o perfilhamento e provoca incrementos substanciais no índice de área foliar ao longo da rebrota (Whitehead, 1995). De maneira genérica, existe uma linearidade entre a concentração de nitrogênio (N) nas folhas e a taxa de assimilação de dióxido de carbono (CO₂) de plantas C4 e a correspondente performance fotossintética em uma vasta faixa de amplitude, podendo existir uma variabilidade em função dos diferentes estádios de desenvolvimento. Em condições de baixas intensidades luminosas pode não haver efeito significativo da concentração de N nas folhas sobre a eficiência do uso da luz (Keulen et al., 1989).

Apesar de que o conceito de produtividade potencial nunca seja atingido na prática, é indispensável que se obtenha experimentalmente a magnitude desse atributo, visto a necessidade de planejamento da intervenção do homem no agroecossistema. O rendimento de uma cultura é, por definição, a produtividade potencial (ou biológica) de um genótipo sendo deplecionada por algum fator de restrição, principalmente o déficit hídrico, o qual

* Eng. Agrônomo, M.Sc. Doutorando em Irrigação e Drenagem, ESALQ/USP, Piracicaba-SP. detomini@esalq.usp.br

** Eng. Agrônomo, M.Sc. Doutorando em Irrigação e Drenagem, ESALQ/USP, Piracicaba-SP.

*** Professor Associado, Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba-SP.

ocasiona redução na evapotranspiração máxima deste genótipo (Doorenbos e Kassam, 1979) e também a absorção de nutrientes.

O objetivo do presente trabalho é caracterizar uma relação de dependência entre a produção de parte aérea (kg/ha) de capim Tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzânia) e alguns atributos fundamentais (oferta ambiental) na determinação desta produção, tais como a disponibilidade de água no solo, o nível de adubação nitrogenada, a radiação solar e a temperatura do ar; visando estabelecer um modelo que permita a estimativa da produção de forragem em um determinado local de interesse, a partir de uma data em qualquer época do ano.

Material e métodos

O presente trabalho foi realizado a partir dos dados da experimentação conduzida por Lourenço (2004) na região de Piracicaba (SP) (22° 42' S, 47° 38' O, 540 m.s.n.m.), em uma pastagem considerada estabelecida e homogênea em termos de população de capim Tanzânia (*Panicum maximum* cv., Tanzânia), em um Latossolo Vermelho Álico de textura média. A análise química de fertilidade do solo (0 – 0.40 m) é apresentada na Tabela 1. O período de experimentação ocorreu entre maio de 2002 a novembro de 2003.

A saturação por bases foi elevada a 80% em função da aplicação de 3 t/ha de calcário dolomítico (PRNT = 120). A correção dos níveis de fósforo e de potássio foi feita

empregando, respectivamente, 600 kg/ha de P₂O₅ (fonte: superfosfato simples) e 300 kg/ha (fonte: cloreto de potássio). Empregou-se também 30 kg/ha de micronutrientes (fonte: FTE BR 12).

No intuito de obter total controle das variáveis, principalmente do suprimento hídrico, o experimento foi implantado dentro de estufa, a qual dispunha de cobertura de filme plástico de polietileno de alta densidade de 150 micras, transparente, com tratamento anti UV, instalado em peça única. Com o objetivo de explorar o maior número de tratamentos sem que houvesse a contaminação entre as lâminas de irrigação e as adubações, cada parcela era delimitada por caixas d'água de cimento amianto com capacidade para 500 litros (dimensões: 110 x 95 x 62.5 cm), as quais foram instaladas com a borda superior no nível do solo em quatro blocos de 25 caixas. No fundo destas, foram colocados aproximadamente 50 litros de brita no. 2 sobre uma camada de manta sintética, e um tubo de PVC de 35 mm foi inserido verticalmente para permitir o acesso ao interior da caixa e facilitar a drenagem (Figura 1 -Lourenço, 2004).

O delineamento experimental empregado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Dentro de cada bloco, foram distribuídas aleatoriamente as diferentes condições de suprimento hídrico (L₂₅, L₅₀, L₇₅, L₁₀₀ e L₁₂₅) associadas aos diferentes níveis de adubação nitrogenada (D₀, D₃₀, D₆₀, D₁₁₀ e D₂₇₀), totalizando-se 25 tratamentos em cada bloco, e 100 parcelas no total do experimento.

Tabela 1. Análises químicas do solo (0 – 0.40 cm) utilizado no preenchimento das caixas.

Bloco (no.)	pH (CaCl ₂)	MO (g/dm ³)	P _{resina} (mg/dm ³)	K	Ca	Mg	Al (mmolc/dm ³)	H + Al	SB	CTC	V (%)
1	4.4	10	5	1.3	9	6	2	25	16	39	39
2	4.7	13	8	2.5	13	7	1	20	23	53	53
3	4.7	13	6	2.3	11	7	1	22	20	48	48
4	4.8	13	6	2.7	13	8	1	22	24	52	52

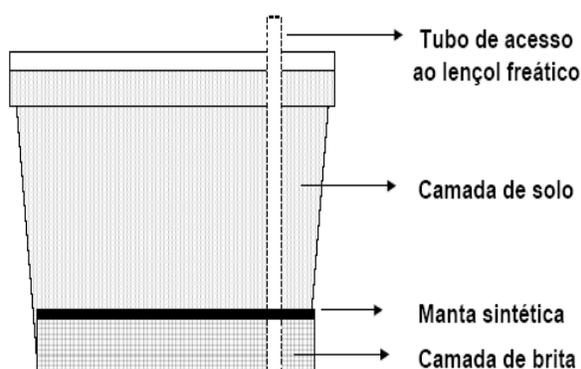


Figura 1. Representação esquemática da caixa d'água que delimitava cada parcela.

Após a desfolha, os níveis de nitrogênio 0, 30, 60, 110 e 270 kg/ha de N por ciclo (fonte: nitrato de amônia) foram aplicados via fertirrigação, juntamente ao fertilizante nitrato de potássio, visando repor as quantidades removidas desse nutriente para manter os níveis do mesmo em um mínimo de 20 g/kg na matéria seca.

Como a quantidade de água a ser aplicada nos tratamentos deveria ter boa precisão, as irrigações foram realizadas ao mesmo tempo, sendo utilizado um sistema tipo gotejamento com emissores autocompensantes de vazão 2.4 l/h, o que permitiu realizar a equalização dos tratamentos, os quais se referiam às porções 25% (L_{25}), 50% (L_{50}), 75% (L_{75}), 100% (L_{100} – testemunha) e 125% (L_{125}), totalizando-se cinco lâminas de irrigação. A variação de vazão foi realizada através do número de gotejadores em cada tratamento, distribuídos proporcionalmente sobre as parcelas de acordo com o tratamento: L_{25} = 1 gotejador, L_{50} = 2 gotejadores; L_{75} = 3 gotejadores; L_{100} = 4 gotejadores; e L_{125} = 5 gotejadores.

A variação da lâmina de irrigação foi obtida a partir de um percentual da quantidade de água evapotranspirada pelo tratamento testemunha (L_{100}), o qual era irrigado até repor 100% da capacidade de armazenamento disponível no solo, ou seja, este tratamento era irrigado à capacidade de campo através do monitoramento do potencial mátrico do solo com base em

tensiômetros de punção digital, os quais foram instalados com o objetivo de monitorar o perfil do solo (nas profundidades 0.10, 0.30 e 0.50 m) com leituras diárias durante o período de amostragem.

Segundo Reichardt (1987), a manutenção do potencial matricial do solo entre os limites de -0.02 e -0.2 MPa na profundidade de 15 a 150 cm parece ser adequada para a produção vegetal, de uma maneira geral. Potenciais acima de -0.02 MPa (menos negativos) não permitem boa aeração e favorecem o desenvolvimento de patógenos anaeróbicos, e potenciais menores que -0.2 MPa (mais negativos) podem reduzir a produtividade porque estão associados a valores de umidade mais baixos no solo, ou seja, à deficiência hídrica. Portanto, no caso do experimento, a irrigação iniciava-se sempre que a média dos tensiômetros registrasse entre -0.03 e -0.04 MPa.

Os valores de temperatura foram obtidos dentro da área experimental, e os valores de precipitação e de radiação líquida através da estação meteorológica padrão da ESALQ/USP (Tabela 2). Ao incidir no interior de estufas, a radiação solar é normalmente reduzida a 70% (ordem de grandeza) da radiação exterior. Como a fração de radiação correspondente à radiação difusa é relativamente maior dentro da estufa, a fração de radiação fotossinteticamente ativa pode ser levemente superior à fração da radiação global, ou seja, por volta de 75%, como ordem de grandeza; podendo, no entanto, não haver diferenças aparentes entre as radiações difusas internas e externas, embora a magnitude desse fracionamento irá depender, por exemplo, do tipo de material de cobertura, do envelhecimento e da espessura do mesmo (Pereira et al., 2002).

A amostragem de forragem contemplou cortes a cada 35 dias, a uma altura em relação à superfície de 0.30 a 0.40 m, os quais proporcionaram resíduos variando entre 3000 a 5000 kg/ha de matéria verde. Após cada corte, a forragem era pesada e sub-amostras de 0.20 kg

Tabela 2. Período de crescimento do capim *Panicum maximum* cv. Tanzânia, temperatura média, chuva efetiva, irrigação (L_{100}) e saldo hídrico.

Ciclo	Período de desenvolvimento			Temp. média (°C)	Radiação solar (MJ/m ²)	Chuva efetiva (mm)	Irrigação (mm)	Saldo hídrico (mm)
	Início	Final	Dias					
1	30/10/02	06/12/02	37	23.8	373.2	228.6	185	43.6
2	07/12/02	10/01/03	35	24.3	368.8	158.8	168	-9.2
3	11/01/03	15/02/03	36	24.0	322.8	273.1	136	157.1
4	16/02/03	22/03/03	35	24.4	328.6	175.2	145	30.2
5	23/03/03	26/04/03	35	21.7	261.3	82.1	92	-9.9
6	27/04/03	31/05/03	35	18.7	185.0	54.1	73	-18.9
7	01/06/03	05/07/03	35	18.8	171.3	9.1	60	-50.9
8	06/07/03	09/08/03	35	18.8	164.5	24.6	105	-80.4
9	10/08/03	13/09/03	35	18.0	220.0	15.4	97	-109.6
10	14/09/03	18/10/03	35	21.2	279.3	35	127	-92.0
Total			353			1056	1196	

(aproximadamente) de material verde eram extraídas para posteriormente serem secadas na estufa de ventilação forçada a 65 °C, até que as sub-amostras atingissem um peso seco constante durante 24 e 48 h, sendo então finalmente determinadas as fitomassas secas de cada tratamento.

As variáveis independentes do modelo proposto para expressar a produção de capim Tanzânia (P , kg/ha) sob corte, tais como latitude, dia do ano, elementos do clima e suprimento de nitrogênio e de água, são apresentados no fluxograma da Figura 2.

Conforme preconizado por Villa Nova et al. (1999) para representar o atributo referente à influência da temperatura sobre a produção, utilizou-se o conceito das unidades fototérmicas (UF , °C.dia), as quais são assim calculadas:

$$UF = \frac{(n \cdot GD) \frac{H_f}{H_i} + 1}{\frac{H_f}{H_i} + 1} \quad (1)$$

em que n se refere ao número de dias contemplados pelo ciclo de rebrota; H_f ao número máximo teórico de horas de brilho solar correspondente ao primeiro dia de rebrota (valores correspondentes a cada ciclo

são apresentados na Tabela 3); H_i ao número máximo teórico de horas de brilho solar correspondente ao último dia de rebrota (valores correspondentes a cada ciclo são apresentados na Tabela 3); GD à diferença entre a temperatura média do dia (\bar{T}_d , °C) e a temperatura basal inferior (T_{bi} , assumida neste trabalho como sendo igual a 15 °C) de cada dia do ciclo de rebrota, ou seja:

$$GD = \bar{T}_d - T_{bi}, \text{ (quando } \bar{T}_d > T_{bi} \text{)} \quad (2)$$

Porém, em dias menos quentes, pode se ter também as seguintes condições:

$$GD = \frac{(T_{máx} - \bar{T}_d)^2}{(T_{máx} - T_{mín}) \cdot 2}, \text{ (quando } \bar{T}_d = T_{bi} \text{)} \quad (3)$$

$$GD = \frac{(T_{máx} - T_{bi})^2}{(T_{máx} - T_{mín}) \cdot 2}, \text{ (quando } \bar{T}_d < T_{bi} \text{)} \quad (4)$$

em que $T_{máx}$ se refere à máxima temperatura (°C) registrada no dia; e $T_{mín}$ à mínima temperatura (°C) registrada no dia.

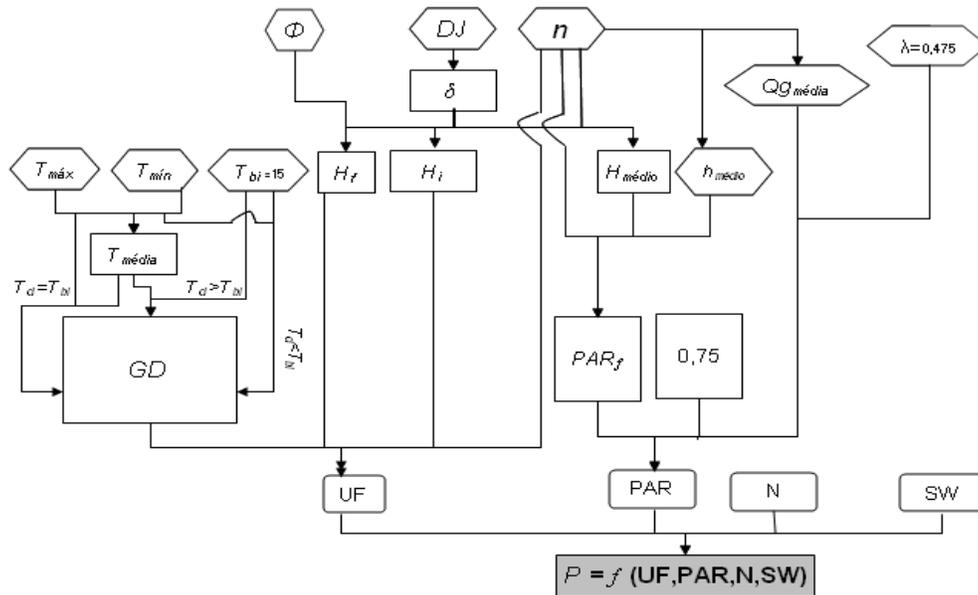


Figura 2. Representação esquemática dos atributos do modelo. As variáveis de entrada são apresentadas nas figuras em formato hexagonal.

Em um local qualquer, o número máximo teórico de horas de brilho solar correspondente a um dia qualquer (H) pode ser estimado pela seguinte expressão:

$$H = 0.133 \cdot \arccos(-\text{tg}\delta \cdot \text{tg}\phi) \quad (5)$$

em que ϕ se refere à latitude (decimais) do local (Piracicaba: 22,7083); e δ à declinação solar do dia.

$$\delta = 23.45 \text{ sen} \left[\frac{360}{365} \cdot (DJ - 80) \right] \quad (6)$$

em que DJ se refere ao Dia Juliano (exemplo: para 1º. de fevereiro, tem-se $DJ = 32$).

A radiação PAR acumulada (MJ/m^2) fora do ambiente protegido foi estimada pela seguinte equação (Villa Nova et al., 2004):

$$PAR_f = n \cdot \overline{Qg} \cdot \left(\lambda - 0.1 \cdot \frac{\bar{h}}{H} \right) \quad (7)$$

em que \overline{Qg} se refere à radiação solar global média ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$) durante o ciclo; λ à fração da radiação solar global que é fotossinteticamente ativa (neste trabalho, assumiu-se que $\lambda = 0.475$); \bar{h} ao número

Tabela 3. Máximo brilho solar (h/dia) médio teórico (\bar{H}), brilho solar médio medido (\bar{h}), máximo brilho solar final (H_f) e inicial (H_i) correspondente a cada ciclo de rebrota.

Ciclo	\bar{H}	\bar{h}	H_f	H_i
1	13.14	5.5736	13.347	12.859
2	13.36	6.1885	13.288	13.533
3	13.03	5.2361	12.733	13.278
4	12.35	6.6828	11.974	12.713
5	11.58	6.4885	11.221	11.952
6	10.92	7.4342	10.697	11.202
7	10.63	7.0600	10.653	10.688
8	10.86	6.3085	11.117	10.660
9	11.48	7.2885	11.851	11.135
10	12.25	7.5657	12.622	11.873

real de horas de brilho solar no dia (medido pela estação meteorológica; e H ao número teórico médio de horas de brilho solar no dia. Os valores de \bar{h} e H são apresentados na Tabela 3, conforme cada ciclo de rebrota.

Como não se dispunha dos dados de radiação solar global dentro da estufa, assumiu-se como ordem de grandeza os

valores encontrados por Galvani (2001), ou seja, que a radiação fotossinteticamente ativa no ambiente protegido era equivalente a 75% da radiação fotossinteticamente ativa fora da estufa (Equação 7). Logo:

$$PAR = 0.75 \cdot PAR_f \quad (8)$$

Resultados e discussão

A influência das condições climáticas sobre o desenvolvimento do capim cv. Tanzânia é constatada através da própria lâmina de irrigação aplicada, em função da demanda, durante o período de experimentação (Tabela 4 -Lourenço, 2004). A lâmina requerida pelas parcelas submetidas ao tratamento L₁₀₀ (referência de irrigação no experimento) variou conforme a leitura dos tensiômetros nos diferentes ciclos, já que estes apresentaram diferentes valores para temperatura média, radiação solar e fotoperíodo.

Conforme Lourenço (2004), como se observou através das lâminas que a evapotranspiração do capim cv. Tanzânia naturalmente aumentou com o aumento da produção, o controle da lâmina de referência por nível de adubação apresentaria uma

precisão maior no controle da disponibilidade hídrica por tratamento.

Não houve diferença significativa das lâminas L₇₅, L₁₀₀ e L₁₂₅ para o tratamento D₀. Contudo, mais significativo foi o efeito da deficiência hídrica na produção quanto maior o nível de N aplicado. Segundo Lourenço (2004) a extração de nitrogênio provavelmente tenha sido menor, em relação aos tratamentos sem deficiência hídrica, nos tratamentos com lâmina de irrigação reduzida a 25%, 50% e 75% da evapotranspiração. Uma equação que permite verificar o efeito do conteúdo relativo de água no solo sobre os processos de absorção de nitrogênio mineral é apresentada em Thornley (1998). Quanto mais úmido é o solo em relação à sua capacidade de campo, maior é a fração de N absorvido.

A produção total de matéria seca do capim cv. Tanzânia no período de coleta dos dados aumentou linearmente em função dos níveis de nitrogênio empregados, independente da condição de disponibilidade de água (Lourenço, 2004). Resultados variáveis sobre o efeito do suprimento de água na resposta à aplicação de fertilizantes são reportados em Whitehead (1995); provavelmente devido às diversas interações que podem ocorrer nos processos

Tabela 4. Lâmina de irrigação (mm) aplicada nos diferentes ciclos do capim *Panicum maximum* cv. Tanzânia em função dos tratamentos.

Ciclo	Tratamento				
	L ₁₂₅	L ₁₀₀	L ₇₅	L ₅₀	L ₂₅
1	231	185	139	93	46
2	210	168	126	84	42
3	170	136	102	68	34
4	181	145	109	73	36
5	115	92	69	46	23
6	91	73	55	37	18
7	75	60	45	30	15
8	131	105	79	53	26
9	121	97	73	49	24
10	159	127	95	64	32
Total	1485	1188	891	594	297

relacionados ao desenvolvimento vegetal, à lixiviação de nitrogênio e à desnitrificação. O efeito do conteúdo relativo de água no solo sobre a desnitrificação pode ser também equacionado, sem nenhuma dependência do tipo de solo ou da porosidade (Thornley, 1998).

A Tabela 5 apresenta os valores de produção, encontrados por Lourenço (2004), de capim cv. Tanzânia em função do suprimento hídrico e de nitrogênio, e em função de atributos relacionados ao clima, tais como a unidade fototérmica —*UF*, variável que contempla temperatura média diária do ar, o número de dias compreendidos pelo ciclo de rebrota e também o número teórico de horas de brilho solar do primeiro e do último dia deste ciclo— e a radiação solar fotossinteticamente ativa acumulada —variável que contempla a radiação solar global média incidente, o número de dias compreendidos pelo ciclo, a fração de radiação solar que é fotossinteticamente ativa e a razão de insolação— estimada em função da radiação

solar fotossinteticamente ativa acumulada fora do ambiente protegido (equação 7). Os valores de produção (variável resposta) se referem à média dos blocos.

Observa-se que o quarto ciclo de rebrota apresentou a maior temperatura média (24.4 °C). Embora a radiação solar líquida média neste ciclo não tenha sido a mais alta dentre todos os ciclos, a temperatura parece ter influenciado fortemente a produção de capim Tanzânia. Diante dos mesmos níveis de suprimento de água e de nitrogênio, condições atmosféricas favoráveis (tais como temperatura do ar e radiação mais elevadas) podem justificar plenamente as diferenças de produção constatadas nos diferentes ciclos, conforme a época do ano. Isso pode ser verificado na Figura 3 e na Figura 4, ambas obtidas por Lourenço (2004).

Devido às condições climáticas do local em que foi conduzido o experimento, não foi possível a avaliação da produção de capim Tanzânia em condições de temperaturas médias do ar superiores a

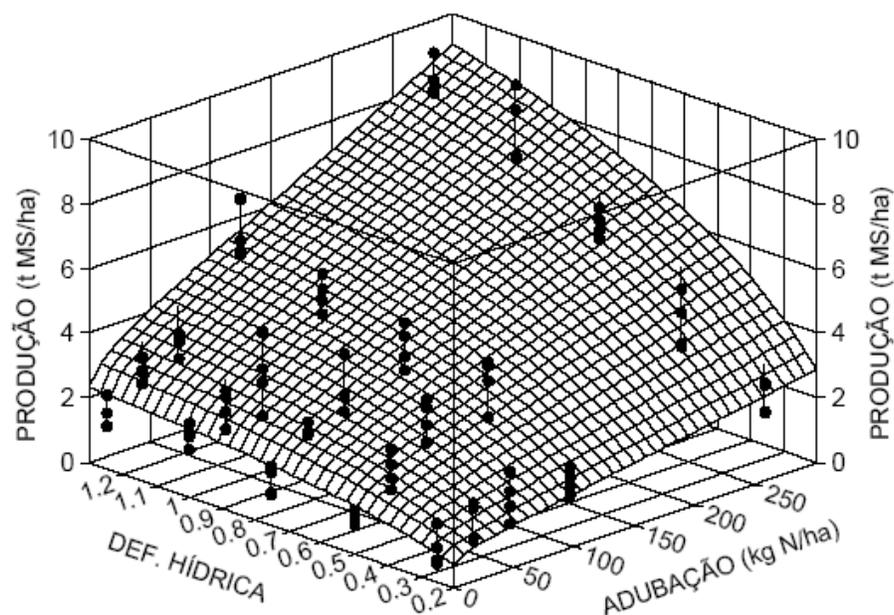


Figura 3. Superfície de resposta de produção de capim Tanzânia (t/ha de MS) em função do suprimento hídrico (valores abaixo de 1 denotam deficiência) e da adubação nitrogenada referente ao ciclo 4 (16/02 a 22/03/2003), nos 4 blocos avaliados.

Tabela 5. Produção (P, t/ha) de fitomassa seca de parte aérea de capim *Panicum maximum* cv. Tanzânia (média das 4 repetições, Lourenço, 2004) em função da oferta ambiental (unidades fototérmicas, PAR acumulada, níveis de adubação nitrogenada e de suprimento hídrico) nos diferentes períodos de coleta.

UF (°C.dia)	PAR acumulada no ciclo (MJ/m ²)	SW	Ciclo de rebrota										Total							
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10								
64,7936	45,455	39,999	37,618	19,203	6509	8227	10,064	6785	30,187											
232.5	226.5	196.78	205.42	177.03	150.04	134.61	131.93	112.49	195.47											
0	0.25	2.18	1.33	0.49	1.06	1.10	0.26	0.66	0.40	0.93	0.52	8.56								
30	0.25	2.26	1.64	0.57	1.75	0.94	0.60	0.67	0.45	1.12	1.09	11.92								
60	0.25	2.06	1.91	0.59	1.85	0.90	0.36	0.57	0.67	0.99	0.64	14.08								
110	0.25	2.42	2.58	0.78	1.70	1.20	0.48	0.56	0.73	0.95	0.96	13.33								
270	0.25	1.86	1.84	0.52	2.22	1.00	0.61	0.63	0.83	1.17	2.64	14.33								
0	0.5	2.36	2.31	0.87	1.18	1.23	0.45	0.84	0.66	0.85	1.09	10.90								
30	0.5	2.19	2.51	1.26	2.21	1.64	0.65	0.82	1.14	1.21	1.57	15.34								
60	0.5	1.80	2.82	1.30	3.43	1.76	0.72	0.76	0.70	1.63	1.59	19.17								
110	0.5	2.49	2.72	1.23	3.92	1.75	0.92	1.07	0.88	1.66	1.81	21.67								
270	0.5	1.73	3.78	1.97	3.68	2.33	0.98	1.02	0.83	0.94	1.63	20.33								
0	0.75	1.95	2.87	1.36	1.40	1.92	0.80	0.79	1.28	1.60	1.46	11.60								
30	0.75	2.52	3.34	2.28	2.57	2.01	0.79	1.21	1.13	1.48	1.73	16.62								
60	0.75	2.86	4.16	2.54	3.47	2.40	0.97	1.30	1.54	1.80	3.13	24.30								
110	0.75	3.37	4.92*	3.45	4.11	2.47	1.09	1.41	1.80	2.29	3.60	24.97								
270	0.75	4.96*	4.96*	2.62	5.84*	3.63	0.86	1.26	1.26	1.99	3.59	27.20								
0	1	1.33	2.59	1.67	1.91	1.73	0.48	0.81	0.82	0.86	1.18	12.58								
30	1	2.77	4.03	2.71	2.41	2.29	0.95	1.55	1.37	1.55	1.99	18.64								
60	1	2.63	4.95*	2.27	3.02	2.04	1.15	1.54	1.35	1.96	2.47	26.83								
110	1	3.15	6.17*	2.94	4.85*	2.99	1.33	1.53	1.79	2.15	4.07	31.11								
270	1	3.77	6.37*	3.98	7.95*	3.44	1.23	1.62	2.35	1.87	4.67	33.53								
0	1.25	1.84	2.37	1.59	1.67	1.06	0.47	0.82	0.63	1.22	1.14	12.06								
30	1.25	2.54	3.80	2.84	2.66	1.89	0.88	1.52	1.47	1.63	2.05	20.12								
60	1.25	2.94	4.72*	3.43	3.17	2.03	1.27	1.66	2.26	2.10	3.34	31.34								
110	1.25	3.51	6.02*	3.76	5.77*	2.42	1.75	1.68	1.76	2.75	4.13	37.77								
270	1.25	5.08*	6.12*	4.45	8.57*	2.30	1.33	1.65	1.79	2.53	4.38	38.36								

*Dados considerados discrepantes – excluídos da análise de regressão.

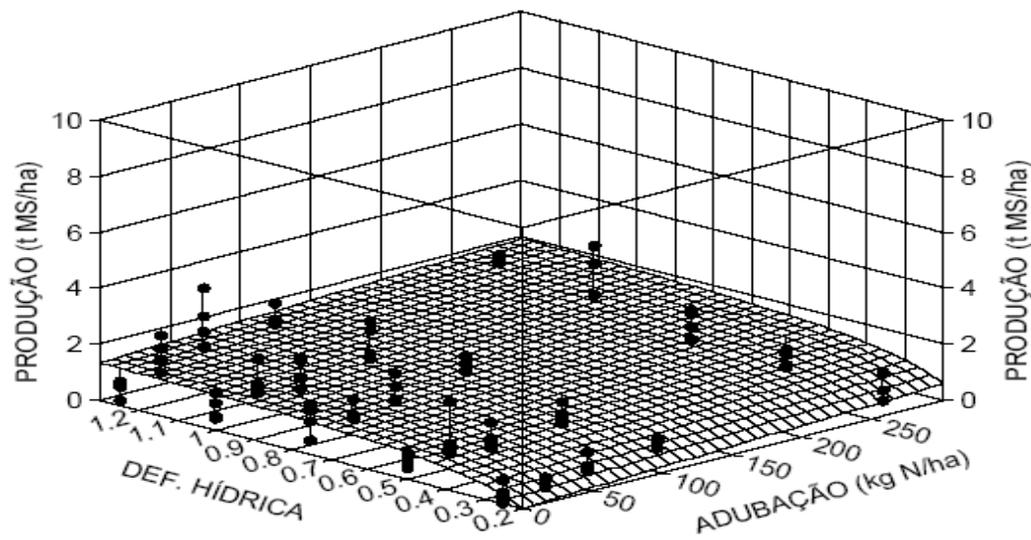


Figura 4. Superfície de resposta de produção de capim Tanzânia (t/ha de MS) em função do suprimento hídrico (valores abaixo de 1 denotam deficiência) e da adubação nitrogenada referente ao ciclo 7 (01/06 a 05/07/2003), nos 4 blocos avaliados.

25°C; sendo que, neste caso, as respostas da cultura em função do suprimento hídrico e de nitrogênio poderiam ser ainda maiores, vindo a reforçar a justificativa das técnicas de irrigação nas regiões situadas em latitudes menores, como no Norte e no Centro-Oeste do Brasil, por exemplo (Lourenço, 2004).

Como recomendações de manejo da pastagem, Lourenço (2004) menciona que, quanto mais intensificado for o sistema de produção no que diz respeito ao suprimento de nitrogênio, maior é a possibilidade de ocorrer uma redução na produção de capim Tanzânia em função da ocorrência de um veranico; o que sugere, como um importante atrativo para esses casos, a adoção de sistemas de irrigação (condizente com o momento econômico e com a realidade de cada produtor) no intuito de minimizar os riscos decorrentes da ação climática para garantir a produção.

Levando-se em consideração também a temperatura do ar (expressa através das unidades fototérmicas) e a disponibilidade de energia solar, expressa através da estimativa de radiação solar fotossinteticamente ativa,

obteve-se a seguinte equação de caracterização (hiper-superfície de resposta) da produção de parte aérea (P , kg/ha) de capim cv. Tanzânia em função da oferta ambiental:

(9)

em que N se refere ao suprimento de nitrogênio (kg/ha de N); SW ao suprimento hídrico relativo (adimensional: valores abaixo de 1 denotam deficiência hídrica; sendo $0.25 < SW < 1.25$); UF às unidades fototérmicas (°C.dia; sendo $5000 < UF < 80,000$); PAR à radiação solar fotossinteticamente ativa (MJ/m²; sendo $100 < PAR < 500$) acumulada no ciclo; e α , β , γ e C (interseção da equação) aos parâmetros empíricos determinados através de análise de regressão linear múltipla. A descrição estatística da equação e dos parâmetros é apresentada na Tabela 6.

Além dos quatro parâmetros da interseção terem sido significativos teste 'F' ao nível de 5%, eles delimitam um intervalo de confiança onde não está compreendido o valor zero, o que estatisticamente os tornam

Tabela 6. Descrição estatística geral da equação de caracterização obtida através de análise de regressão linear múltipla.

Parâm.	Valor	F	Erro padrão	Stat. 't'	p < 0.05	Intervalo de confiança		R ²
						95% inferiores	95% superiores	
<i>C</i>	-1.17699		0.405455	-2.9028	0.004057	-1.97587	-0.37811	
α	0.003255		0.000471	6.91767	4.51 .10 ⁻¹¹	0.002328	0.004183	
β	1.21562	71.66	0.122871	9.89348	1.86 .10 ⁻¹⁹	0.973524	1.457715	0.5548
γ	1.33 .10 ⁻⁰⁵		6.42 .10 ⁻⁶	2.0630	0.040228	5.96 .10 ⁻⁷	2.59 .10 ⁻⁵	
φ	0.008525		0.003082	2.766	0.006132	0.002453	0.014598	

válidos. Embora o valor de R² seja relativamente baixo, este pode ser considerado ainda aceitável para a regressão múltipla, pois se refere a uma medida de exatidão, e não de precisão (valores altos de R² podem denotar um bom ajuste, mas podem ao mesmo tempo não explicar um fenômeno de interesse). Como não é possível a representação gráfica da hiper-superfície descrita pela Equação 9, torna-se inoportuna a visualização do comportamento biológico característico apresentado pelo capim cv. Tanzânia em função das variáveis independentes.

Diante dos dados de produção obtidos, visando tornar o modelo mais simplificado no que diz respeito aos elementos do clima, outros atributos foram também analisados para compor a análise de regressão linear múltipla, tais como temperatura média do ar ou graus-dia ao invés das unidades fototérmicas, radiação solar global ao invés da radiação fotossinteticamente ativa, etc. Porém, os resultados das análises estatísticas dos

parâmetros relacionados a esses atributos não permitiram a inclusão destes nas equações de caracterização que eram obtidas (exemplo na Tabela 7), denotando possivelmente a existência de fontes de erro a própria complexidade com que deve ser considerada a relação entre solo, planta e atmosfera.

Como principais fontes de erro referente aos valores discrepantes de produção de parte aérea de capim cv. Tanzânia, pode-se mencionar principalmente aqueles relacionados à amostragem e também à influência dos diferentes pontos de colheita em que foram submetidos os tratamentos, já que a experimentação baseou-se no calendário cronológico para a desfolhação.

Trabalhos futuros podem ser feitos estabelecendo como o critério do ponto colheita (ou pastejo) a interceptação luminosa (95 e 100%, por exemplo) pelo dossel, ao invés do calendário cronológico. Diante desse critério, cabe a pesquisa quantificar,

Tabela 7. Descrição da análise estatística dos parâmetros referentes aos atributos relacionados à produção: em função do intervalo de confiança correspondente ao parâmetro referente à radiação PAR, não foi possível a escolha de *GD* ao invés de *UF*.

Parâmetro relacionado a	valor	F	Stat. 't'	p	Intervalo de confiança		R ²
					95% inferiores	95% superiores	
Interseção	-1.24425		-3.97267	9.51 .10 ⁻⁰⁵	-1.86135	-0.62713	
<i>N</i>	0.003275		7.019574	2.48 .10 ⁻¹¹	0.00235	0.00419	
<i>SW</i>	1.223041	73.91	10.04013	6.65 .10 ⁻¹⁹	0.98302	1.463056	0.5624
<i>PAR</i>	0.005712		1.773549	p > 0.05	-0.0006	0.01205	
<i>GD</i>	0.004157		2.889451	0.004228	0.00132	0.00699	

portanto, a magnitude das produções de fitomassa seca de parte aérea, especialmente das folhas, de pastagens de capim cv. Tanzânia com alta densidade populacional de perfilhos em função da variação dos principais atributos responsáveis pela produção vegetal, tais como radiação solar fotossinteticamente ativa, temperatura, água e nitrogênio.

Vale ressaltar a importância de se testar o modelo com dados de locais que disponham de mensurações de temperatura do ar, de radiação solar global incidente e de número reais de horas de brilho solar; bem como que tenha avaliado a produção em diferentes condições de suprimento hídrico e de nitrogênio, considerando-se que a população de capim cv. Tanzânia represente uma elevada densidade populacional (a máxima que a parte aérea possa permitir) de perfilhos.

Conclusão

Considerando o desenvolvimento de pastagens sob a ótica do calendário cronológico, não houve resposta significativa da produção de capim *Panicum maximum* cv. Tanzânia à adubação nitrogenada no período mais frio e com menor disponibilidade energia solar do ano, mesmo quando o dossel dispunha de um suprimento hídrico adequado. O modelo obtido apresenta-se como uma boa ferramenta quanto à estimativa da produção de parte aérea de capim cv. Tanzânia, podendo ser utilizado em planejamento de sistemas agrícolas desde que sejam definidos os níveis de adubação nitrogenada e os níveis de água no solo, por exemplo, se houver disponibilidade de irrigação, em função do momento econômico. Contudo, é necessário que haja também um histórico de radiação solar, de temperatura do ar e de insolação do local de interesse para tornar possível a elaboração das curvas diárias de distribuição probabilística desses atributos e a posterior escolha aleatória de valores com grandes probabilidades de ocorrência para os mesmos, os quais possibilitam simulações mais eficazes.

Resumen

Panicum maximum cv. Tanzania es una de las principales especies forrajeras utilizadas por productores en sistemas ganaderos en Brasil. Tomando como base los trabajos desarrollados en la Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz en Piracicaba (SP), Brasil, se estudió la relación de dependencia entre la producción de materia seca de la parte aérea de la planta de cv. Tanzania y algunos atributos de oferta ambiental como agua disponible en el suelo, nivel de fertilización nitrogenada, radiación solar fotossinteticamente activa y temperatura. Para el efecto se desarrolló un modelo de utilidad que puede ser utilizado en varios sitios y épocas del año:

$$P = \alpha \cdot N + \beta \cdot SW + \gamma \cdot UF + \varphi \cdot PAR + C,$$

donde, N es el nivel de suministro de nitrógeno, SW es el suministro hídrico relativo, UF son las unidades fototérmicas ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{día}$), PAR es la radiación solar fotossinteticamente activa (MJ/m^2) acumulada en el ciclo, α , β , γ , φ , e C son los parámetros empíricos determinados a través de regresión lineal múltiple. Bajo condiciones de baja temperatura y disponibilidad de radiación solar y restricción de agua, no se encontró respuesta a la aplicación de N , lo que muestra, una vez más, el importante papel que ejercen los factores ambientales en la producción de las plantas forrajeras. Los resultados muestran la importancia del modelo para la planificación de los sistemas de uso de pasturas de este cultivar.

Abstract

Panicum maximum cv. Tanzania is one of the main fodder species used by producers in cattle systems in Brazil. Based on the works developed in the Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz en Piracicaba (SP), Brazil, the dependence relationship between the production of dry matter of the cv. Tanzania shoot and some environmental attributes offer as available water in the floor, level of nitrogenized fertilization, solar radiation photosynthetically active and tempera-

ture were studied. For that purpose, it was developed a model that can be used in several places and seasons of the year:

$\alpha \cdot N + \beta \cdot SW + \gamma \cdot UF + \varphi \cdot PAR + C$, where, N is the level of nitrogen supply, SW is the relative hydric supply, UF are the photothermal units ($^{\circ}C \cdot day$), PAR is the radiation solar photosynthetically active (MJ/m^2) accumulated in the cycle, and, α , β , γ , φ , e C are the empiric parameters determined through multiple lineal regression—. Under the conditions of low temperature, solar radiation availability, and the restriction of water, there was no answer to the application of N , what shows, once again, the significant role that exerts the environmental factors in the production of fodder plants. The results show the importance of the model for the planning of systems of pasture usage of this cultivar.

Referências

- Bonhomme, R. 2000. Bases and limits to using degree-day units. *Europ. J. Agron.* 13:1-10.
- Doorenbos, J. e Kassam, A. H. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma. FAO. Riego y Drenaje no. 33. 212 p.
- France, J. e Thornley, J. H. 1984. *Mathematical models in agriculture.* Londres. Butterworths. 335 p.
- Galvani, E. 2001. Avaliação agrometeorológica do cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) em ambientes protegidos e a campo, em ciclos de outono-inverno e primavera-verão. Botucatu, 2001. Tese Doutorado. Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho (UNESP). 124 p.
- Heemst, H. D. van. 1986. Physiological principles. 1986. En: Keulen, H. e Wolf, J. (eds.). *Modelling of agricultural production: Weather soils and crops.* Wageningen: Pudoc. p. 13-26.
- Keulen, H.van.; Goudriaan, J.; e Seligman, N. G. 1989. Modelling the effects of nitrogen on canopy development and crop growth. En: Russel, G.; Marshall, B.; e Jarvis, P. G. (eds.). *Plant canopies: their growth, form and function.* Cambridge: University Press, 1989. Society for Experimental Biology seminar series, 3. p. 83-104.
- Lourenço, L. F. 2004. Avaliação da produção de capim Tanzânia em ambiente protegido sob disponibilidade variável de água e nitrogênio no solo. Piracicaba, 1994. Dissertação Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 76 p.
- Pereira, A. R.; Angelocci, L.R.; e Sentelhas, P. C. 2002. *Agrometeorologia – fundamentos e aplicações práticas.* Guaíba: Agropecuária. 478 p.
- Reichardt, K. 1987. *A água em sistemas agrícolas.* São Paulo: Manole. 188 p.
- Thornley, J. H. M. 1998. *Grassland dynamics – an ecosystem simulation model.* Wallingford: CAB International. 241 p.
- Villa Nova, N. A.; Detomini, E. R.; Dourado Neto, D.; Manfron, P. A.; e Pedreira, C. G. 2004. Modelo de estimativa da produtividade de fitomassa seca de parte aérea de *Cynodon nlemfuensis* L. cv. Florico. *Pasturas Tropicales.*26(3):56-61.
- Villa Nova, N.A.; Barioni, L. G.; Pedreira, C. G.; e Pereira, A. R. 1999. Modelo para produtividade do capim elefante em função de temperatura do ar, fotoperíodo e frequência de desfolha. *Rev. Bras. Agromet.* 7(1):75-79.
- Whitehead, D. C. 1995. *Grassland nitrogen.* Wallingford, CAB International. 485 p.