

IX SIMFOR

IX Simpósio sobre Manejo Estratégico da Pastagem

9th Symposium on Strategic Management of Pasture

*VI Simpósio Internacional Sobre Produção
Animal em Pastejo*

6th International Grazing Livestock Symposium

ANAIS DO IX SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM

EDITORES

Odilon Gomes Pereira
Dilermando Miranda da Fonseca
Karina Guimarães Ribeiro
Fernanda Helena Martins Chizzotti

20 e 21 de Junho de 2019
Viçosa – MG – Brasil

CENÁRIOS FUTUROS DAS PASTAGENS NO BRASIL

José Ricardo Macedo Pezzopane¹; Patricia Menezes Santos¹; Cristiam Bosi²; Silvio Evangelista³; Caio Arlanche Petri⁴; Santiago Vianna Cuadra³

¹ Pesquisador, Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP. Email: jose.pezzopane@embrapa.br

² Pós-Doutorando em Ciência Animal e Pastagens, ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

³ Pesquisador, Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

⁴ Aluno de Doutorado em Sensoriamento Remoto, INPE, São José dos Campos, SP.

INTRODUÇÃO

O Brasil se consolidou, nas últimas décadas, como o detentor do maior rebanho comercial do mundo, com destaque no mercado mundial de exportações de carne e com projeções de aumento significativo na produção de carne nos próximos anos (Valdes, 2006. ABIEC, 2018). O país é frequentemente citado como sendo a nação que possui o maior potencial para suprir a crescente demanda mundial por proteína animal, em função de uma série de fatores como disponibilidade de terras, condições climáticas favoráveis à produção de grãos e pastagens, e tecnologias para a produção em clima tropical.

Diferentemente dos demais países produtores de carne bovina, no Brasil a produção de ruminantes ocorre predominantemente em pastagens. A área de pastagens no Brasil, composta por pastos nativos e cultivados, ocupa aproximadamente 160 milhões de hectares (Parente e Ferreira, 2018), correspondendo a aproximadamente 45% da área das propriedades agrícolas do País (IBGE, 2019).

Devido às grandes diferenças climáticas entre os biomas tropicais, o clima é o principal fator que determina a produção das plantas forrageiras tropicais (Pezzopane et al., 2016). Vale ressaltar ainda que no Brasil predominam pastagens cultivadas em condições de sequeiro, ressaltando a importância das condições do tempo e do clima na produtividade.

O quinto relatório (AR5) do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2013) apresenta estimativas de aumento entre 2 e 7,0°C na temperatura no Brasil até 2100, com aumento da variabilidade e ocorrência de eventos extremos de precipitação. Para o Brasil, as projeções regionalizadas indicam

tendências para o aumento dos extremos máximos e mínimos da temperatura e alta variabilidade espacial para precipitação quando analisados diferentes cenários de emissão (Marengo et al., 2009; Mourão et al., 2016; Lloard et al., 2017). Essas projeções indicam mudanças no padrão de precipitação pluvial afetando a disponibilidade de água para o consumo humano, a agricultura e a geração de energia. Parte dessas projeções são identificadas em um recente estudo realizado por Allen et al. (2018) que apresentam elevação de 1,5°C na temperatura global em comparação ao período pré-industrial.

Em função da importância das condições climáticas sobre a produção de forragem e seus impactos na produção pecuária do Brasil, quando se leva em consideração os cenários de mudanças climáticas, é de se esperar efeitos sobre a pecuária brasileira, impondo novos desafios às cadeias produtivas de carne e de leite. Os desafios à produção agropecuária nos cenários de mudanças climáticas estão relacionados às medidas de adaptação dos sistemas produtivos. A necessidade de adaptação se dará a partir do momento em que os padrões climáticos impuserem alterações nos padrões de produção das forrageiras ou mesmo limitarem sua capacidade de produção.

O estudo das relações entre as condições climáticas e a produção das plantas agrícolas pode ser realizado por diversas abordagens, sendo que duas merecem destaques. A primeira é a determinação da alteração dos padrões de crescimento e produção das plantas em ambiente controlado e modificado, como é o caso dos estudos propostos por Habermann et al. (2019). A segunda abordagem é o uso de modelos matemáticos que, a partir da associação entre o crescimento das forrageiras e variáveis climáticas, estimam a produtividade das plantas. De maneira geral essas duas abordagens são complementares, sendo que uma abordagem pode fornecer parâmetros para a outra.

O uso de modelos matemáticos que quantificam os efeitos das condições ambientais sobre a produção das plantas pode auxiliar no planejamento da produção, a partir da utilização de séries climáticas de longa duração, assim como na tomada de decisão, baseada nas observações meteorológicas vigentes. Essa estratégia

também tem sido utilizada para diversas culturas agrícolas (Marin et al., 2012; Battisti et al, 2018) a fim de verificar o efeito de cenários de mudanças climáticas sobre os potenciais de produção.

Nesse capítulo serão apresentadas algumas relações entre as condições ambientais e o desenvolvimento de forrageiras tropicais, o uso de modelos para simular a produtividade dos capins e alguns resultados relacionados aos de cenários climáticos futuros sobre as pastagens, a partir de trabalhos que estão sendo desenvolvidos na temática de modelagem de produção de plantas forrageiras. Ao final ainda são propostas medidas de adaptação dos sistemas de produção para redução dos impactos negativos nas regiões mais vulneráveis.

CLIMA E PASTAGENS TROPICAIS

A expressão dos potenciais genéticos de crescimento e desenvolvimento das plantas forrageiras tropicais é fortemente influenciada por condições edáficas e climáticas, de cujos componentes destacam-se a fertilidade do solo, a temperatura, a disponibilidade hídrica e a radiação solar, considerados isoladamente ou por múltiplas combinações desses fatores (Villa Nova et al., 2004; Pedreira et al., 2009).

Estudos relacionados ao potencial de uso das forrageiras tropicais no centro-sul do Brasil consideram em seus requisitos os parâmetros climáticos, edáficos ou de manejo (Rio Grande do Sul, 1975; Pedro Jr. et al., 1990). Nas condições de cultivo da região Sudeste do Brasil, o crescimento vigoroso das forrageiras tropicais, comumente verificado no período de primavera-verão, se alterna com crescimento nulo ou pouco significativo do período de outono-inverno, o que determina a estacionalidade da produção de forragem, fato que resulta em marcante influência sobre a produção pecuária (Pezzopane et al., 2012).

Amplas evidências experimentais documentam os efeitos marcantes de características regionais sobre a estacionalidade da produção, que pode ser condicionada pelas condições térmicas, hídricas ou mesmo pela influência das duas condições simultaneamente. Apesar disso, a estimativa de padrões e a

quantificação dessas respostas para diferentes condições climáticas no Brasil são limitadas pela escassez de informações.

A modelagem vem sendo utilizada para preencher essas lacunas, considerando a hipótese de que as variáveis climáticas podem ser usadas como um preditor do rendimento de forragem. Andrade et al. (2015) abordaram o estado da arte da modelagem para forrageiras tropicais, evidenciando que a produtividade de forragem pode ser estimada por modelos mecanicistas ou empíricos.

Modelos empíricos, também conhecidos como modelos agrometeorológicos, consideram as relações de causa e efeito entre as variáveis ambientais e variáveis de produção. Esses modelos têm sido utilizados para a predição da produção de capins dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum*, a partir da correlação entre a produção agrícola com um ou mais variáveis como temperatura, radiação, disponibilidade de água e nutrientes, especialmente nitrogênio (Zhang et al., 2007; Cruz et al., 2011; Pezzopane et al., 2013). Modelos mecanicistas consideram o conhecimento dos processos físicos, químicos e biológicos que governam os fenômenos em estudo, como a fotossíntese e o desenvolvimento das plantas. Os modelos CROPGRO e APSIM vêm sendo adaptados para simulações do crescimento de forrageiras no Brasil (Pedreira et al., 2011; Lara et al., 2012; Araujo et al., 2013; Pequeno et al., 2014; Bosi, 2017; Pequeno et al., 2018; Santos et al., 2019).

Nas últimas décadas tem aumentado o uso de modelos preditores da produção de forragem para diversos fins. Os estudos de cenários futuros para as pastagens tropicais a partir de simulações da produção de plantas forrageiras é uma dessas aplicações, cuja síntese dos resultados será abordada a seguir.

ESTUDOS DE CASOS SOBRE CENÁRIOS FUTUROS PARA PASTAGENS

Nesse item serão abordados resultados de estudos de cenários futuros para pastagens tropicais. Essas simulações foram realizadas por modelos empíricos e por modelos mecanicistas. Primeiramente serão apresentadas simulações de produções de forrageiras tropicais por modelos empíricos, baseados nos trabalhos de Andrade et al. (2014) para *Brachiaria brizantha* no estado de São

Paulo e Pezzopane et al. (2016) para *Panicum maximum* no Brasil. Posteriormente serão apresentadas simulações de cenários futuros para *Brachiaria brizantha* baseados em simulações com o modelo APSIM-Tropical Pasture (Bosi, 2017), que foi desenvolvido para a versão Next Generation do APSIM (Holzworth et al. 2018).

Cenários futuros para *Panicum maximum* no Brasil a partir de modelo empírico (Extraído de Pezzopane et al., 2016)

O trabalho desenvolvido por Pezzopane et al. (2016) objetivou caracterizar a produção de forragem de *Panicum maximum* cv. Tanzânia para o Brasil baseado num modelo agrometeorológico de estimativa de produção e posteriormente avaliar o efeito de cenários de mudanças climáticas na produção de forragem, utilizando para isso dois modelos de simulação de mudanças climáticas (PRECIS e ETA).

O modelo agrometeorológico de estimativa da produção do capim-tanzânia utilizado no trabalho foi o originalmente desenvolvido por Pezzopane et al. (2012), e utiliza a relação linear entre os graus-dia acumulado e a taxa de acúmulo para condições hídricas ideais. O modelo foi inicialmente desenvolvido para as condições do estado de São Paulo (São Carlos e Piracicaba), tendo sua parametrização alterada com a inclusão de dados de Juiz de Fora e Sobral, com o objetivo de ampliar a faixa de entrada de valores da variável independente. A estimativa de produção de cultivos irrigados (taxa de acúmulo de matéria seca em condições sob irrigação - TAMS_i) baseada na variável graus-dia (GD) foi determinada pela equação:

$$\text{TAMS}_i (\text{kg Ms ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}) = 10,76 * \text{GD}_i \text{ (Pezzopane et al., 2016)}$$

Os valores diários de graus-dia (GD) foram calculados empregando-se as equações a partir da temperatura-base de 14,3°C, obtida por meio da regressão linear entre a temperatura média do período (base mensal) e a taxa de acúmulo.

Em condições de sequeiro, para contabilização do efeito da disponibilidade hídrica no acúmulo de forragem, foi utilizado um fator de penalização dado pelo armazenamento relativo de água no solo (Pezzopane et al., 2012), determinado pela relação entre o armazenamento atual de água no solo e o armazenamento máximo

(fator denominado ARM) (variação de 0 a 1), ambos obtidos pelo balanço hídrico climatológico (Thornthwaite e Mather, 1955). A produção de forragem para as condições de clima atual foi estimada para o território nacional por meio de séries climáticas temporais de 285 estações meteorológicas.

Os cenários climáticos futuros foram projetados por dois modelos de projeções de mudanças climáticas para o período temporal de 2013-2040, centralizado em 2025 e para o período de 2043-2070, centralizado em 2055. O primeiro deles foi o PRECIS, que executa o modelo regional do Centro Hadley HadRM3P, que considera as condições de contorno do modelo climático global HadAM3P. Foi utilizada uma resolução horizontal de 50 km com 19 níveis na atmosfera.

O segundo cenário foi gerado pelo modelo ETA-CPTEC, versão climática do modelo ETA desenvolvida no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/ Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (INPE/CPTEC), que permite integrações para períodos de qualquer duração. Foi utilizada a combinação de quatro projeções das condições de contorno do modelo climático global acoplado oceano-atmosfera do Centro Hadley HadCM3, que foi executado em resolução de 2,5° de latitude x 3,75° de longitude em frequência de 6 h. O ETA-CPTEC “aninhado” no HadCM3 foi configurado com resolução horizontal de 40 km e 38 camadas na vertical.

Na análise dos resultados apresentados pelos autores no trabalho, o modelo empírico usado para prever o desempenho em cenários atual e futuro para a produção de forragem de P. maximum teve um bom desempenho quando avaliado contra dados independentes e simulou a produção de forragem com sazonalidade observada nas áreas produtivas do Brasil. A forragem apresenta padrões de crescimento vigoroso durante a primavera e verão a um crescimento insignificante durante o outono e inverno.

Na análise das projeções de produção nos cenários futuros, as alterações nas estimativas das produções estão relacionadas com os cenários climáticos. De maneira geral ocorrerá aumento dos valores de temperatura para todo o território, com maiores incrementos para a região Norte do Brasil. Nos cenários para 2012-2040 as projeções indicam aumentos entre 1 a 2°C e de 2 a 3°C para a maior parte das

regiões do Brasil no cenário B2 e A2, respectivamente, com valores um pouco superiores para o modelo PRECIS, refletindo em uma maior área do país com maiores aumentos de produção em relação ao modelo ETA.

Para a maioria do território brasileiro, um efeito positivo do clima futuro sobre a produção anual de forragem de *P. maximum* é esperado, principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste do país. Uma diminuição na produção da forragem é esperada para a região Nordeste. Os autores ainda concluíram que a sazonalidade da produção ocorre devido a baixas temperaturas e/ou períodos secos, e não se espera que isso mude sob as condições de cenários climáticos futuros.

Cenários futuros para *Brachiaria brizantha* (cv. Marandu) no estado de São Paulo a partir de modelos empíricos (Extraído de Andrade et al., 2014)

Considerando apenas o estado de São Paulo, os autores utilizaram a mesma abordagem de Pezzopane et al. (2016), apresentada no item anterior, visando avaliar cenários futuros da produção do capim-marandu frente aos cenários de mudanças climáticas no Estado de São Paulo.

O modelo agrometeorológico de estimativa da produção do capim-marandu utilizado pelos autores no estudo foi o de Cruz et al. (2011), determinado pela relação entre graus-dia com correção para a disponibilidade hídrica (GD_{corr}) e a taxa de acúmulo (TAMS):

$$TAMS \text{ (kg Ms ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}) = 15,34 * GD_{corr} \text{ (Cruz et al., 2011)}$$

Os valores diários de graus-dia (GD) foram calculados empregando-se as equações a partir da temperatura-base de 17,2°C, obtida por meio da regressão linear entre a temperatura média do período e a taxa de acúmulo.

Foram selecionadas 23 estações meteorológicas no estado de São Paulo e nos estados vizinhos, com o mesmo tratamento de séries temporais e projeções de cenários futuros realizadas por Pezzopane et al. (2016) descritas no item anterior.

Assim como para o capim-tanzânia para a região Sudeste, apresentado por Pezzopane et al. (2016), as projeções indicam um aumento de acúmulo de forragem anual do capim-marandu para o estado de São Paulo. A produção estimada com base nos dados climáticos projetados pelo modelo Precis foi superior à do modelo ETA-CPTEC, principalmente no cenário de alta emissão. Em ambos os cenários, o aumento também foi mais pronunciado para o período de 2043-2070 em comparação ao cenário 2013-2040, e mais evidente nos cenários de alta emissão do que no cenário de baixa emissão para ambos os períodos. Os autores argumentam que esses cenários de aumento da produção estão baseados no aumento da temperatura, embora ressaltem que o aumento da demanda hídrica para algumas regiões do estado possa trazer prejuízos à produção.

Apesar desses resultados serem promissores, existem algumas limitações e incertezas associadas ao uso de modelos empíricos em simulação de cenários climáticos futuros. Embora os dados utilizados para parametrização dos modelos tenham sido obtidos para ciclos de temperaturas de até 31°C, especialmente para o capim-tanzânia, há alguma incerteza sobre o desempenho dos modelos em temperaturas próximas ou superiores a este valor. Além disso, os modelos de produção de forragem utilizados nos dois trabalhos não consideram os efeitos de propriedades físicas e químicas propriedades do solo e da fertilização e manejo de pastagens na produção de forragem. Dados utilizados para o modelo parametrizado foram obtidos a partir de experimentos fertilizados com nitrogênio em 200 a 360 kg N ha⁻¹ ano e seu desempenho em sistemas sem adubação também pode ser uma limitação nas simulações.

Cenários futuros para *Brachiaria brizantha* (cv. BRS Piatã) no estado de São Paulo a partir de simulações na Plataforma APSIM.

A vulnerabilidade dos sistemas de produção animal baseados nas pastagens tropicais às mudanças climáticas pode ser mais bem estudada pelo uso de modelos mecanicistas. Isso tornou-se viável com o aumento recente da realização de parametrizações de modelos mecanicistas para forrageiras tropicais (Pedreira et al., 2011; Lara et al., 2012; Araujo et al., 2013; Pequeno et al., 2014; Bosi, 2017; Pequeno et al., 2018). Nessa seção serão apresentados

resultados de simulações de cenários futuros para braquiária a partir do modelo APSIM-Tropical Pasture, utilizando a parametrização para *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã realizada por Bosi (2017).

A simulação foi realizada para condições de sequeiro em regime de adubação (simulando um sistema intensivo de manejo da pastagem, sob pastejo em lotação rotativa, com ciclos de crescimento de 30 dias), com séries temporais para o Estado de São Paulo. Nessa simulação foram consideradas as variações nos resíduos pós-pastejo entre as épocas do ano.

Para a seleção das estações meteorológicas utilizadas no estudo foi utilizada a divisão de mesorregiões do estado de São Paulo (IBGE, 2016). Os centroides de cada mesorregião foram extraídos em ambiente SIG realizando a seleção da estação meteorológica mais próxima ao centroide para representar a mesma durante a simulação de produção (Figura 1).

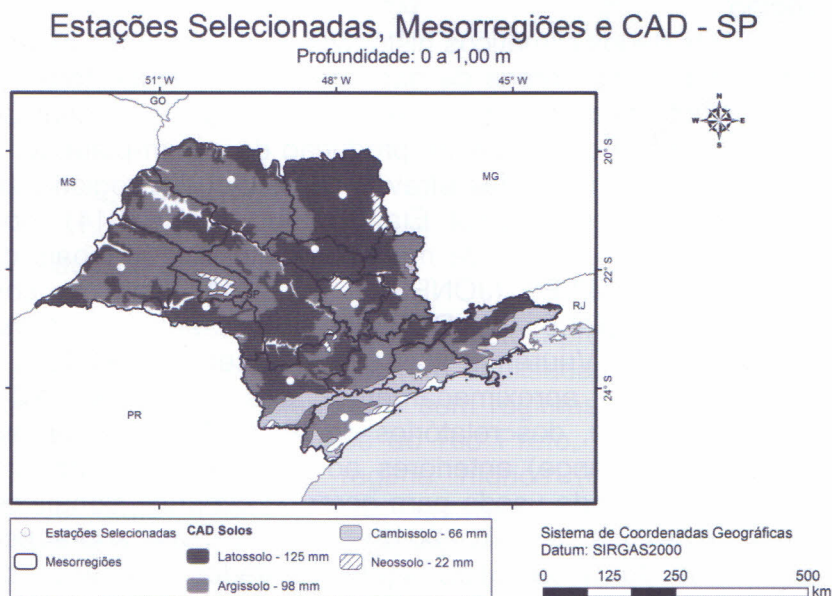


Figura 1 - Estações selecionadas, mesorregiões do Estado de São Paulo, tipos de solo selecionados e sua capacidade de água disponível.

Foi criado um mapa de tipos de solo para a divisão de cada mesorregião (Figura 1). Cada tipo de solo presente representa variações em granulometria, implicando em diferentes características produtivas em uma simulação. A base de dados utilizada para a criação do mapa de solos (IAC, 2016) possui a escala 1:750.000. Somente quatro principais tipos de solo foram utilizados (Argissolo, Latossolo, Neossolo e Cambissolo), de forma a criar uma melhor compreensão dos resultados de acordo com o tipo de solo.

Para a obtenção de dados físicos referentes a cada tipo de solo escolhido, a base de dados de perfil de solos do RADAM foi utilizada que para se obter as informações de ponto de murcha permanente, capacidade de campo e a capacidade de água disponível no solo por meio de um procedimento de pedotransferência (VAN DER BERG et al, 1997), que foram inseridas no modelo para serem utilizados na simulação de produção de forragem, compreendendo a porcentagem de solo presente em cada região.

Os dados climáticos históricos de 13 estações meteorológicas selecionadas nas áreas de abrangência do estudo foram derivados do conjunto descrito em Xavier et al. (2016). Para analisar o efeito das mudanças climáticas na produção do capim-piatã, as projeções climáticas foram geradas através das projeções regionalizadas pelo modelo climático regional Eta (CHOU et al., 2014), *downscaling* dinâmico dos cenários de mudanças climáticas globais do modelo global HadGEM2-ES (JONES et al., 2011), para os cenários de emissões RCP4.5 e RCP8.5 (*Representative Concentration Pathways*; Van Vuuren et al., 2011). Os cenários RCP8.5 e RCP4.5 correspondem aproximadamente aos cenários A2 e B1, respectivamente, dos relatórios do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) anteriores ao atual (AR5 – Fifth Assessment Report). O método usado para gerar os cenários climáticos, método Delta (Hawkins et al., 2013), consiste na sobreposição das anomalias do clima futuro sobre os dados climáticos das séries observadas presentes. Para gerar as anomalias foram computados dois conjuntos de médias climatológicas mensais referentes aos períodos: (i) base (1961-1990) e futuro intermediário (2041-2070).

A análise conjunta dos resultados de simulação das séries temporais de todas as regiões do Estado de São Paulo, para dados do clima atual e futuro intermediário nos cenários RCP4.5 e RCP8.5, considerando a estacionalidade da produção (dados mensais) e a probabilidade acumulada (dados anuais) (Figura 2), apresenta pequena variação positiva da produção especialmente para o cenário RCP4.5. Apesar dos valores positivos, pode-se perceber um aumento de produção diferente ao longo do ano, especialmente concentrado nos meses de verão e outono e retomada da produção mais lenta na primavera para o cenário RCP8.5.

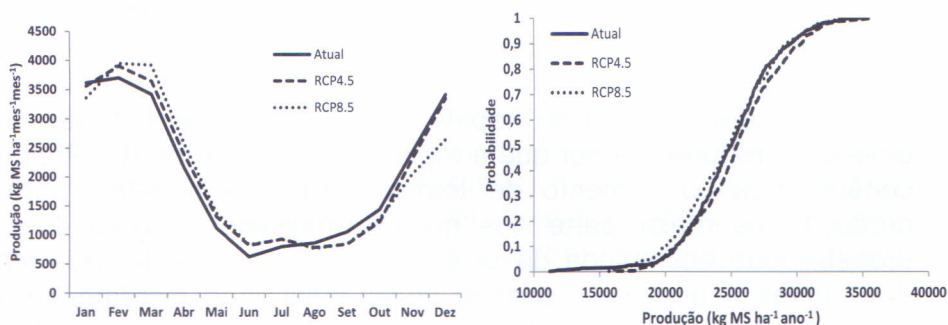


Figura 2 - Produção mensal e probabilidade acumulada da produção anual de *B. brizantha* cv. BRS Piatã no estado de São Paulo.

Em função do estado de São Paulo apresentar diferenças climáticas entre as suas regiões, foram analisadas duas regiões de climas contrastantes, caracterizados com regimes térmico e hídrico distintos. Na região de São José do Rio Preto, com temperaturas médias mais acentuadas e regime hídrico (combinação entre demanda e oferta hídrica) mais rigoroso, ambos os cenários apresentam diminuição na produção em decorrência das mudanças climáticas (Figura 3). A redução da produção ocorrerá principalmente na primavera e início do verão, sendo mais significativa no cenário mais rigoroso (RCP8.5). Entre os meses de fevereiro e maio, a curva estacional apresenta aumento nas produções mensais em ambos os cenários.

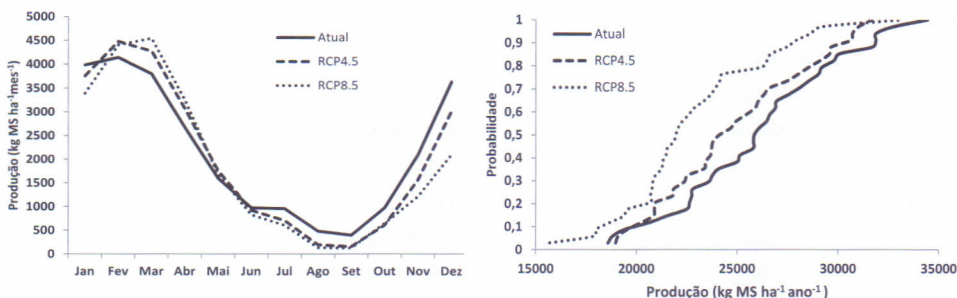


Figura 3 - Produção mensal e probabilidade acumulada da produção anual de *B. brizantha* cv. BRS Piatã para a região de São José do Rio Preto, SP.

Já para a região de Itapetininga (sudoeste do Estado), com potencial produtivo menor que a região de São José do Rio Preto no cenário atual, o aumento de temperatura será benéfico para a produção na maior parte dos meses analisados (Figura 4) e a probabilidade acumulada da produção anual mostra deslocamento das curvas à direita do cenário atual, mostrando incrementos na produção do capim-piatã, apesar de maior variabilidade de produção para ambos os cenários de mudanças climáticas entre os anos avaliados em comparação ao cenário atual.

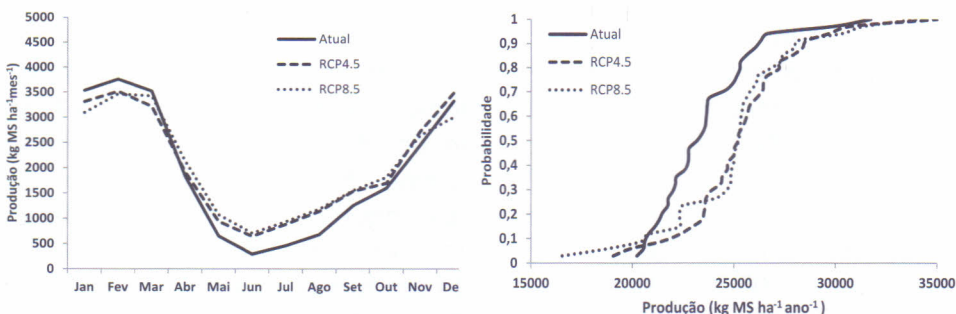


Figura 4 - Produção mensal e probabilidade acumulada da produção anual de *B. brizantha* cv. BRS Piatã para a região de Itapetininga, SP.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modelos de predição da produção de pastagens tropicais têm se mostrado uma importante ferramenta para diversas finalidades, dentre elas, verificar por meio de simulação, o efeito dos cenários futuros baseados em projeções de mudanças climáticas na produtividade das forragens tropicais. Apesar das incertezas acerca das alterações dos regimes climáticos futuros, a evolução das parametrizações dos modelos de processos para as pastagens tropicais tem proporcionado um avanço no conhecimento sobre o tema.

Na análise de resultados dos trabalhos sobre o tema apresentados nesse documento, pode-se notar que as projeções climáticas pelos modelos ETA-CPTEC e PRECIS promoverão impactos positivos sobre a produção total anual de forragem por pastagens constituídas por *Panicum maximum* (capim-tanzânia) e *Brachiaria brizantha* (capim-marandu) na maior parte das regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. Apesar disso, na maior parte da Região Sudeste e no Brasil Central aumentará também a estacionalidade da produção, devido ao aumento da produção concentrado nos meses de verão, além da variabilidade da produção anual.

Simulações por meio de modelos mecanicistas permitirão ainda avaliar alternativas de adaptação, como, por exemplo, irrigação, alterações morfofisiológicas das forragens tropicais e vedação das pastagens. Cenários climáticos futuros trarão novos desafios à produção pecuária e ações relacionadas ao planejamento da produção de forragem e à alimentação do rebanho, à seleção e ao melhoramento genético de plantas forrageiras, ao manejo das plantas e do solo e ao uso e ao manejo da irrigação poderão ser adotadas para aumentar a resiliência e adaptar os sistemas de produção aos cenários climáticos futuros (Santos et al., 2015).

REFERÊNCIAS

- ABIEC. Estatísticas. Disponível em: <https://http://www.abiec.com.br/ExportacoesPorAno.aspx>. Acesso em: 01 de março 2019.
- Allen, M.R.; O.P. Dube; W. Solecki; et al. Framing and Context. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, et al. (eds.)]. In Press. 2018.
- Araujo, L.C.; Santos, P.M.; Rodriguez, D.; Pezzopane, J.R.M.; Oliveira, P.P.A.; Cruz, P.G. Simulating Guinea Grass Production: Empirical and Mechanistic Approaches. *Agronomy Journal* (Print), v. 105, p. 61-69, 2013.
- Andrade, A.S.; Santos, P.M.; Pezzopane, J.R.M.; Bettiol, G.M.; Evangelista, S. R.M. Climate change and future scenarios for palisade grass production in the state of São Paulo, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* (1977. Impressa), v. 49, p. 745-753, 2014.
- Andrade, A.S.; Santos, P.M.; Pezzopane, J.R.M.; Araujo, L.C.; Pedreira, B.C.; Pedreira, C.G.S.; Marin, F.R ; Lara, M.A.S. Simulating tropical forage growth and biomass accumulation: an overview of model development and application. *Grass and Forage Science*, v. 71, n.1, p. 54-65, 2016.
- Battisti, R.; Sentelhas, P.C. ; Parker, P.S. ; Nendel, C.; C'mara, G. M. S.; Farias, J.R.B.; Basso, C.J. Assessment of crop-management strategies to improve soybean resilience to climate change in Southern Brazil. *Crop & Pasture Science*, v. 69, p. 1-9, 2018.
- Bosi, C. Parameterization and evaluation of mechanistic crop models for estimating *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã productivity under full sun and in silvopastoral system. Tese (doutorado). Esalq/USP. 158 p.
- Chou, S.C.L.; Lyra, A.; Mourão, C.; et al. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. *American Journal of Climate Change*, v. 03, p. 512-527, 2014.

- Cruz, P.G.; Santos, P.M.; Pezzopane, J.R.M.; Oliveira, P.P.A.; Araujo, L.C. Modelos empíricos para estimar o acúmulo de matéria seca de capim-marandu com variáveis agrometeorológicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, p.675-681, 2011. doi: 10.1590/S0100-204X2011000700001.
- Habermann, E.; San Martin, J.A.B.; Contin, D.R.; Bossan, V.P.; Barboza, A.; Braga, M.R.; et al. Increasing atmospheric CO₂ and canopy temperature induces anatomical and physiological changes in leaves of the C₄ forage species *Panicum maximum*. *PLoS ONE* 14(2): e0212506. 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212506>.
- Hawkins, E.; Osborne, T.M.; Ho, C.K.; Challinor, A.J. Calibration and bias correction of climate projections for crop modelling: An idealised case study over Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170(0), 19–31. 2013.
- Holzworth, D.; Huth, N.I.; Fainges, J.; Brown, H.; Zurcher, E.; Cichota, R.; Verral, S.; Herrmann, N.I.; Zheng, B.; Snow, V. APSIM Next Generation: Overcoming challenges in modernising a farming systems model. *Environ. Model. Softw.* 103, 43-51. 2018.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. Pedologia do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://datageo.ambiente.sp.gov.br/serviceTranslator/rest/getXml/Geoserver_WMS/G_PedologicoIAC/1435666706895/wms>. Acesso em: 16 abr. 2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9827-censo-agropecuario.html?=&t=downloads> . Acesso em: 01 março de 2019.
- IPCC. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013.
- Jones, C.D.; Hughes, J.K.; Bellouin, N. et al. The HadGEM2-ES implementation of CMIP5 centennial simulations. *Geosciences Model Development*, v. 4, p. 543–570, 2011.

- Lara, M.A.S.; Pedreira, C.G.S.; Boote, K.J.; Pedreira, B.C.; Moreno, L.S.B.; Alderman, P.D. Predicting growth of *Panicum maximum*: an adaptation of the CROPGRO-forage model. *Agron J*, 104:600–611. 2012. doi:10.2134/agronj2011.0272.
- Llopart, M.; Da Rocha, R.P.; Reboita, M.; Cuadra, S.V.. Sensitivity of simulated South America climate to the land surface schemes in RegCM4. *Climate Dynamics*, v. 48, p. 1-12, 2017.
- Marengo, J.A.; Jones, R.; Alves, L.M.; Valverde, M.C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *International Journal of Climatology*, 29(15):2241–2255. 2009. doi:10.1002/joc.1863.
- Marin, F.R.; Jones, J.W.; Royce, F.; Pellegrino, G.Q.; Assad, E.D.; Barbosa, F.J. Climate change impacts on sugarcane attainable yield in southern Brazil. *Climatic Change*, p. 1-2, 2012.
- Mourão, C.; Chou, S.C.; Marengo, J. Downscaling Climate Projections over La Plata Basin. *Atmospheric and Climate Science (Print)*, v. 06, p. 1-12, 2016.
- Parente, L.; Ferreira, L. Assessing the spatial and occupation dynamics of the Brazilian pasturelands based on the automated classification of MODIS Images from 2000 to 2016. *Remote Sens.*, 10, 1–14. 2018. <https://doi.org/10.3390/rs10040606>.
- Pedreira, C. G. S.; Tonato, F.; Lara, M. A. S. Forrageiras: *Brachiaria*, *Panicum* e *Cynodon*. In: José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro. (Org.). *Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola*. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. p. 426-447.
- Pedreira, B.C.; Pedreira, C.G.S.; Boote, K.J.; Lara, M.A.S.; Alderman, P.D. Adapting the CROPGRO perennial forage model to predict growth of *Brachiaria brizantha*. *Field Crop Res*, 120:370–379. 2011. doi:10.1016/j.fcr.2010.11.010.
- Pedro Jr., M. J.; Alcantara, P. B.; Rocha, G. L.; Alfonsi R. R.; Donzeli, P. L. Aptidão climática pra plantas forrageiras no estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico, 1990. 27 p. (Boletim técnico, 139).
- Pequeno, D.N.L.; Pedreira, C.G.S.; Boote, K.J. Simulating forage production of Marandu palisade grass (*Brachiaria brizantha*) with the CROPGRO-Perennial Forage model. *Crop Pasture Sci.*, 65, 1335–1348. 2014. <https://doi.org/10.1071/CP14058>.

- Pezzopane, J. R. M.; Santos, P. M. ; Bettiol, G. M. ; Bosi, C ; Petinari, I. B. Zoneamento de aptidão climática para os capins marandu e tanzânia na região sudeste do Brasil. São Carlos: EMBRAPA Pecuária Sudeste, 2012a (Documentos).
- Pequeno, D.N.L.; Pedreira, C.G.S.; Boote, K.J.; Alderman, P.D.; Faria, A.F.G. Species-genotypic parameters of the CROPGRO Perennial Forage Model: Implications for comparison of three tropical pasture grasses. *Grass Forage Sci.*, 73, 440-455. 2018.
- Pezzopane J.R.M.; Santos P.M.; Mendonça F.C.; Araujo L.C.; Cruz, P.G. Dry matter production of Tanzania grass as a function of agrometeorological variables. *Pesq Agrop Brasileira*, 47:471–477. 2012. doi:10.1590/S0100-204X2012000400001.
- Pezzopane, J.R.M.; CRUZ, P.G.; Santos, P.M.; Bosi, C.; Araujo, L.C. Simple agrometeorological models for estimating Guineagrass yield in Southeast Brazil. *International Journal of Biometeorology*, v. 1, p. 1, 2013. doi: 10.1007%2Fs00484-013-0751-y.
- Pezzopane, J.R.M.; Santos, P.M.; Evangelista, S.R.M.; Bosi, C.; Cavalcante, A. C. Rodrigues; Bettiol, G.M. ; Gomide, C.A.M.; Pellegrino, G.Q. *Panicum maximum* cv. Tanzânia: climate trends and regional pasture production in Brazil. *Grass and Forage Science (Print)*, v. 72, n. 1, p. 104-117, 2016.
- RIO GRANDE DO SUL. Programa de investimentos integrados para o setor agropecuário. Zoneamento climático por cultura: forrageiras de clima tropical e subtropical. In: ----, Zoneamento Agrícola. Porto Alegre: Pallotti, 1975. cap. 2, p. 177-183.
- Santos M.G.; Boote K.J.; Faria R.T.; Hoogenboom G. Simulation of productivity and soil moisture under Marandu palisade grass using the CSM-CROPGRO-Perennial Forage model. *Crop Pasture Sci.*, 70: 159–168. 2019.
- Santos, P.M.; Vinholis, M.B.; Dias-Filho, M. B.; et al. *Produção animal no Brasil: caracterização, simulação de cenários para pastagens e alternativas de adaptação às mudanças climáticas*. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2015 (Documentos 119).
- Thornthwaite, C.W., Mather, J.R. *The water balance*. Publications in climatology. Drexel Institute of Technology, New Jersey. 1955.
- Valdes, C. Brazil's booming agriculture faces obstacles. *Amber Waves*, v. 4, n. 5, p. 28-35, 2006.

- Van Vuuren, D. P. et al. The representative concentration pathways: an overview. *Climate Change*, v. 109, p. 5–31, 2011.
- van den Berg, M.; Klamt, E.; van Reeuwijk, L.P.; Sombroek, W.G. Pedotransfer functions for the estimation of moisture retention characteristics of Ferralsols and related soils. *Geoderma*, 78:161-180, 1997.
- Villa Nova, N. A.; Detomini, E. R.; Dourado Neto, D.; Manfron, P. A.; Pedreira, C. G. S. Modelo de estimativa da produtividade de fitomassa seca de parte de *Cynodon nlemfuënsis* Vanderyst var. *nlemfuënsis* cv. Florico em função da radiação solar. *Pasturas Tropicais*, v. 26, n. 3, p. 56-61, 2004.
- Xavier, A. C.; King, C. W.; Scanlon, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). *International Journal of Climatology*, 36:2644–2659. 2016.
- Zhang, B.; Valentine, I.; Kemp, P.; Lambert, G. Predictivemodelling of hill-pasture productivity: integration of a decision tree and a geographical information system. *Agric Syst.* 87:1–17. 2017.