# Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

# Cenários agrícolas futuros para *Panicum maximum* cv. Tanzânia no Estado de São Paulo

## Míriam Regina Canesin

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba 2014

### Míriam Regina Canesin Zootecnista

## Cenários agrícolas futuros para *Panicum maximum* cv. Tanzânia no Estado de São Paulo

Orientadora Prof<sup>a</sup>. Dra, **PATRÍCIA MENEZES SANTOS** 

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba 2014

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP

Canesin, Míriam Regina

Cenários agrícolas futuros para *Panicum maximum* cv. Tanzânia no Estado de São Paulo / Míriam Regina Canesin. - - Piracicaba, 2014.

81 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014. Bibliografia.

1. Capim Tanzânia 2. Forrageiras Tropicais 3. Modelos Matemáticos 4. Pastagens 5. São Paulo I. Título

CDD 633.2 C221c

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte - O autor"

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Carlos Alberto Canesin

е

Regina Célia Faria Simão Canesin

#### **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela dádiva da vida e pelas oportunidades,

Aos professores do programa de pós-graduação em Ciência Animal e Pastagem da ESALQ/USP pelos ensinamentos e auxílio na construção do conhecimento,

Á minha orientadora profa. Dra. Patrícia Menezes Santos pelo aceite em minha orientação, pela dedicação e ajuda na condução deste trabalho e pelos incentivos e persistência em me fazer superar os obstáculos,

Ao pesquisador Dr. José Ricardo Macedo Pezzopane e a analista Giovana Maranhão Bettiol pela enorme ajuda nas análises e nos ensinamentos na área de agrometeorologia e geoprocessamento, fundamentais no desenvolvimento da dissertação,

À EMBRAPA por disponibilizar um local agradável para a condução e desenvolvimento do projeto,

Aos meus pais Carlos Alberto Canesin e Regina Célia Faria Simão Canesin por me ensinarem o fundamental da vida, o ser humano, pelo apoio e dedicação, por toda a devoção aos filhos e pelo amor e carinho e principalmente no investimento para o meu desenvolvimento como pessoa,

Á todos os meus amigos e familiares que estiveram envolvidos diretamente na minha vida pessoal e acadêmica eu agradeço pela amizade e apoio constante, em especial minhas amigas Cláudia Barros, Juliana Vieira e Priscila Beligoli pelas palavras e amizade incondicional,

Á todos

Muito obrigada.

### **EPÍGRAFE**

"Conformar-se é submeter-se e vencer é conformar-se, ser vencido. Por isso toda a vitória é uma grosseria. Os vencedores perdem sempre todas as qualidades de desalento com o presente que os levaram à luta que lhes deu a vitória. Ficam satisfeitos, e satisfeitos só podem estar aqueles que se conforma que não tem a mentalidade do vencedor. Vence só quem nunca consegue. Só é forte quem desanima sempre. O melhor e o mais púrpura é abdicar. O império supremo é o do Imperador que abdica de toda a vida normal, dos outros homens, em quem o cuidado da supremacia não pesa como um fardo de jóias."

## SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	17
1 INTRODUÇÃO	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁGICA	21
2.1 A espécie <i>Panicum maximum</i>	21
2.2 Perfil agrícola do Estado de São Paulo	25
2.2.1 Regiões administrativas	26
2.3 Mudanças climáticas e modelos climáticos	29
2.4 Modelagem do crescimento e produção de plantas forrageiras	31
2.4.1 Determinantes da produção de forragem	32
2.4.2 Modelagem aplicada à produção vegetal	36
3 MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1 Delimitação e caracterização da área de estudo:	39
3.2 Caracterização climática do Estado de São Paulo	41
3.3 Dados climáticos	41
3.4 Dados de produção	42
3.5 Espacialização da produção	43
4 RESULTADOS	45
4.1 Potencial produtivo atual e futuro	45
4.2 Modelos ETA e PRECIS: Tendências na variação da produção em rela	ação às
mudanças climáticas	49
5 DISCUSSÃO	63
6 CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS	73

#### **RESUMO**

## Cenários agrícolas futuros para *Panicum maximum* cv. Tanzânia no Estado de São Paulo

O presente trabalho teve por objetivo avaliar cenários futuros de produção de forragem em pastagens de Panicum maximum cv. Tanzânia no Estado de São Paulo, baseados nos modelos climáticos ETA-CPTEC e PRECIS, e discutir os impactos potenciais das mudanças climáticas globais sobre a pecuária na região. Foram realizadas simulações de taxa de acúmulo de matéria seca utilizando-se um modelo de estimativa de produção considerando o acúmulo de graus-dia e a introdução da variável armazenamento de água no solo como fator de penalização do modelo para as condições de segueiro. Os dados gerados foram espacializados para a geração dos mapas de cenário atual e futuros conjuntamente com a análise dos cenários climáticos com base nas emissões de gases do efeito estufa, cenário de baixa, média e alta emissão, projetados pelos modelos climáticos para os anos de 2025 e 2055. Concluiu-se que nos cenários futuros de produção, as mudanças climáticas irão favorecer o estabelecimento do capim-tanzânia no Estado de São Paulo em áreas que atualmente são limitantes ao seu desenvolvimento e ocorrerá um aumento de produção nas áreas atuais de exploração. A pecuária no Estado de São Paulo poderá se beneficiar com as mudanças climáticas pela influência positiva no crescimento de pastagens de capim-tanzânia.

Palavras-chave: Capim Tanzânia; Forrageiras Tropicais; Modelos Matemáticos;

Pastagens; São Paulo

#### **ABSTRACT**

## Future agricultural scenarios for *Panicum maximum* cv. Tanzânia in São Paulo State

This study aimed to evaluate future production scenarios of tanzânia guineagrass (*Panicum maximum* cv. Tanzania) in São Paulo State, based on climate models ETA-CPTEC and PRECIS, and discuss the potential impacts of global climate changes around the livestock in the region. Was simulated dry matter accumulation rate using a production estimative model considering the accumulation of degrees-day and an introduction of the variable soil water storage as a penalization factor in the model for rainfed conditions. The data was spatialized for the generation of actual and future production scenarios together with analysis of the climatic scenarios based on greenhouse gases emissions, low, medium and high emissions scenarios, projected for the years 2025 to 2055. It was concluded that future production scenarios with the predicted climate changes will favor the development of guineagrass in the São Paulo State especially in currently limited areas for development and will occur an increase in production from current exploration areas. The livestock in the São Paulo State may benefit from climate change by the positive influence on the growth of the guineagrass.

Keywords: Pasture; São Paulo State; Simulation Models; Tanzânia Grass; Tropical Forages

## LISTA DE FIGURAS

rigura i	nos anos de 2002 a 201124
Figura 2	- Distribuição geográfica de área cultivada de capim-colonião e número de produtores no censo de 2007/2008 realizado pela CATI25
Figura 3	- Localização geográfica das estações meteorológicas e divisão do Estado de São Paulo em regiões administrativas41
Figura 4	- Cenário atual de produção do capim-tanzânia (Baseline: 1964-2010), em kg MS ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> no Estado de São Paulo para quatro tipos de solos no estado baseados na capacidade de armazenamento de água no solo, sendo solo tipo I – capacidade de armazenamento de água de 20 mm; solo tipo II – capacidade de armazenamento de água de 40 mm; solo tipo III – capacidade de armazenamento de água de 60 mm e solo tipo IV – capacidade de armazenamento de água de 100 mm
Figura 5	- Mapeamento da variação (%) da produção total anual (kg MS ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ) do <i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia no Estado de São Paulo para a classe de solo Tipo I (capacidade de armazenamento de água 20 mm), estimadas pelo modelo ETA em três cenários de mudanças climáticas (baixa, média e alta emissão), projetados para os anos 2025 e 2055
Figura 6	- Mapeamento da variação (%) da produção total anual (kg MS ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ) do <i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia no Estado de São Paulo para a classe de solo Tipo II (capacidade de armazenamento de água 40 mm), estimadas pelo modelo ETA em três cenários de mudanças climáticas (baixa, média e alta emissão), projetados para os anos 2025 e 2055
Figura 7	- Mapeamento da variação (%) da produção total anual (kg MS ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ) do <i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia no Estado de São Paulo para a classe de solo Tipo III (capacidade de armazenamento de água 60 mm), estimadas pelo modelo ETA em três cenários de mudanças climáticas (baixa, média e alta emissão), projetados para os anos 2025 e 205555
Figura 8	- Mapeamento da variação (%) da produção total anual (kg MS ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ) do <i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia no Estado de São Paulo para a classe de solo Tipo IV (capacidade de armazenamento de água 100 mm), estimadas pelo modelo ETA em três cenários de mudanças climáticas (baixa, média e alta emissão), projetados para os anos 2025 e 205557

J	- Mapeamento da variação (%) da produção total anual (kg MS ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ) do <i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia no Estado de São Paulo para a classe de solo Tipo I (capacidade de armazenamento de água 20 mm), estimadas pelo modelo PRECIS em dois cenários de mudança climáticas (baixa e alta emissão), projetados para os anos 2025 e 2055
	o - Mapeamento da variação (%) da produção total anual (kg MS ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> do <i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia no Estado de São Paulo para a classe de solo Tipo II (capacidade de armazenamento de água 40 mm), estimadas pelo modelo PRECIS em dois cenários de mudança climáticas (baixa e alta emissão), projetados para os anos 2025 e 2055
Ū	- Mapeamento da variação (%) da produção total anual (kg MS ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ) do <i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia no Estado de São Paulo para a classe de solo Tipo III (capacidade de armazenamento de água 60 mm), estimadas pelo modelo PRECIS em dois cenários de mudança climáticas (baixa e alta emissão), projetados para os anos 2025 e 2055
	2 - Mapeamento da variação (%) da produção total anual (kg MS ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ) do <i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia no Estado de São Paulo para a classe de solo Tipo IV (capacidade de armazenamento de água 100 mm), estimadas pelo modelo PRECIS em dois cenários de mudanças climáticas (baixa e alta emissão), projetados para os anos 2025 e 2055

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Regiões administrativas e metropolitanas do Estado de São Paulo, com suas respectivas áreas (km²), a participação no PIB do estado em 2011 (% e a participação da agropecuária no total do valor adicionado em 2011 (%) (SEADE, 2013)
Tabela 2	- Identificação das Estações Meteorológicas4
Tabela 3	- Mudança nas áreas de produção de <i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia, variação em km², em função da variação da produção total anual (0 a 10% 10 a 20%, 20 a 30% e >30%) do Baseline, projetadas pelo modelo ETA para três cenários de mudanças climáticas (baixa, média e alta emissão) nos anos de 2025 e 2055, no Estado de São Paulo
Tabela 4	- Mudança nas áreas de produção de <i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia, variação em km², em função da variação da produção total anual (0 a 10% 10 a 20%, 20 a 30% e >30%) do Baseline, projetadas pelo modelo PRECIS para dois cenários de mudanças climáticas (baixa e alta emissão) nos anos de 2025 e 2055, no Estado de São Paulo

### 1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui o maior rebanho comercial de gado bovino do mundo e é líder mundial em exportação de carne bovina. Espera-se aumento de 16,73% no faturamento para 2013, considerando o acumulado do PIB na pecuária no primeiro semestre de 2013 de 6,91%(CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA – 2013). As exportações de carne bovina brasileira representaram US\$ 5,769 bilhões no ano de 2012, com aumento de 7,33% no valor das exportações em relação a 2011 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE – ABIEC- 2012). Projeções feitas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento indicam aumentos de aproximadamente 51% na produção de carne para o período de 2018/2019 em relação à produção de 2008, que deverá aumentar em 12,6 milhões de toneladas no mesmo período (MAPA, 2013).

O relatório do 4º Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas indica que, no futuro, haverá aumento da temperatura associada à redução da quantidade de disponível no solo em várias áreas da América Latina água (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC - 2007). As mudanças no padrão de precipitação pluvial deverão afetar a disponibilidade de água para o consumo humano, a agricultura e a geração de energia.

As mudanças climáticas globais e a necessidade de produção de energia a partir de fontes alternativas imporão novos desafios às cadeias produtivas de carne e de leite no Brasil. A pressão pela regeneração das áreas de reserva legal e o avanço da agricultura, tanto para produção de alimentos e fibras quanto para produção de energia, indicam que haverá redução da área de pastagens em algumas regiões do território nacional e o seu deslocamento para áreas marginais, onde há maiores limitações edafoclimáticas à produção agropecuária.

O Brasil, além da grande extensão de terras com potencial para o desenvolvimento da agricultura, é um país localizado na região tropical do globo terrestre, onde as condições climáticas são favoráveis ao desenvolvimento das plantas forrageiras. A opção pela utilização de pastagens em sistemas de produção de ruminantes corresponde a 160 milhões de hectares (ha) plantados no território

nacional (INSTITUTO BRASILEIRO DE ESTATÍSTICA E GEOGRAFIA - IBGE – 2011). A ocupação das áreas de agricultura dentro do território nacional é determinada pelas características específicas de cada região e estado e pelas exigências de cultivo de cada cultura e espécie animal.

Destaca-se o Estado de São Paulo com a qual 72% das unidades de produção agrícola do estado são ocupadas com área de pastagens e em 14,76% das propriedades rurais o método utilizado no sistema de produção de bovinos de corte e leite é o pastejo intensivo de forrageiras tropicais (LUPA, 2008). As pastagens no Estado de São Paulo ocupam cerca de 40% da área total agricultável e as sementes de gramíneas forrageiras do tipo C<sub>4</sub> representam a maior parcela do volume total de sementes comercializado anualmente (LUPA, 2008).

A espécie forrageira *Panicum maximum*, que ocupa 210.115 ha no Estado de São Paulo (LUPA, 2008), se destaca com atributos de alta produtividade, qualidade e adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, além de ser propagada por sementes e possuir alta aceitabilidade por todas as espécies de animais ruminantes.

As mudanças climáticas previstas pelos modelos abordados nos relatórios do IPCC poderão interferir nos sistemas de produção agrícola, favorecendo ou limitando o desenvolvimento das culturas em função de suas aptidões climáticas (IPCC, 2007). O objetivo deste trabalho foi avaliar cenários futuros de produção de forragem em pastagens de *Panicum maximum* cv. Tanzânia, baseados nos modelos climáticos ETA-CPTEC e PRECIS, e discutir os impactos potenciais das mudanças climáticas globais sobre a pecuária na região.

### 2 REVISÃO BIBLIOGRÁGICA

### 2.1 A espécie Panicum maximum

O *Panicum maximum* pertence à família Poaceae, subfamília Panicoideae e tribo Paniceae. Três espécies fazem parte do complexo agâmico de *P. maximum*: o *P. maximum*, *P. infestum* e *P. trichocladum* (PARSONS, 1972).

Os capins do gênero *Panicum* têm como centro de origem a África Oriental, sendo encontrados normalmente no leste do continente africano, em formas nativas e como capim pioneiro em seu habitat (PARSONS, 1972). A sua introdução e disseminação pelo continente americano está registrada como sendo por volta do século XVII, porém as regiões e a cronologia com que foram introduzidos são controversas. Não há registros consistentes de sua entrada no Brasil, há suposições de que foram trazidos como cama para escravos no século XIX durante o período de maior comércio de escravos africanos para a América e que se disseminou a partir dos locais onde os escravos foram desembarcando e os navios descarregados (JANK, 1995).

Os grupos que efetuaram as expedições de coletas para a espécie *P. maximum* em seu centro de origem, leste da África, Quênia e Tânzania foram os franceses do Office de La Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer (ORSTOM) e os japoneses (HOJITO e HORIBATA, 1982). Entre os anos de 1967 e 1969 os franceses encontraram mais de 249 genótipos e 135 acessos apomíticos e entre 1971 e 1973 os japoneses coletaram 140 acessos na região de origem (FONSECA, 2010)

Dentre os acessos coletados nos locais de origem foram identificadas diferenças em morfologia, produtividade e condições ambientais, a distribuição do capim abrange os limites de latitude 30°S e 30°N, com distribuição em regiões com altitudes desde o nível do mar até 2.500 metros, em solos de média a alta fertilidade e precipitações entre 650 a 1.780mm, com início das chuvas no verão variando entre os meses de Setembro e Outubro até Maio e temperaturas chegando a 38°C no verão (RUSSEL e WEBB, 1976).

Um dos acessos inicialmente encontrado e coletado para compor os bancos de germoplasma das instituições de pesquisa no Brasil foi aquele que posteriormente deu origem ao cultivar Tanzânia. O capim-tanzânia foi coletado pelo ORSTON em 1969, identificado como ORSTON T58 e introduzido no Brasil em 1984 como germoplasma do ORSTON, recebendo registro BRA-007218. Foi inicialmente selecionado pela Embrapa Gado de Corte em Campo Grande, MS e lançado comercialmente em 1991 pela Embrapa Gado de Corte e parceiros.

Sendo uma planta cespitosa de porte médio (em torno de 1,2 m), com folhas médias (em torno de 2,6 cm) e decumbentes (curvadas) (FONSECA, 2010). É bastante utilizado para pastejo e os resultados de ganho de peso e produção de leite em animais submetidos a pastagens formadas por essa forrageira tem sido satisfatórios.

O Panicum maximum cv. Tanzânia apresenta elevado potencial de produção e é amplamente utilizado nos sistemas de produção de ruminantes sob pastejo (HERLING et al.; 2001). O potencial de produção de uma planta forrageira é determinado geneticamente, porém, para que esse potencial seja alcançado, condições adequadas do meio e de manejo devem ser observados (HERLING et al.; 2001).

O capim-tanzânia, assim como grande parte das gramíneas forrageiras tropicais de ciclo C<sub>4</sub>, apresentam estacionalidade da produção, com maiores taxas de acúmulo de forragem nos períodos de condições climáticas favoráveis como disponibilidade hídrica e temperaturas ótimas para cultivo, e menores taxas de acúmulo em períodos de restrição (PEDREIRA e MATTOS, 1981).

Avaliando os efeitos da sazonalidade de produção desta forrageira, Ezequiel e Favoretto (2000) estudaram o efeito dos meses do ano e o efeito das frequências de cortes sobre a produção de perfilhos do capim-colonião. Durante os meses de verão, aos 42 dias de crescimento, foram observadas as maiores produções de matéria seca (MS) por hectare (ha) e o aumento na frequência de corte estimulou a taxa de aparecimento de novos perfilhos positivamente, porém no inverno a produção foi 22 a 23% mais baixa, demonstrando uma redução no crescimento da planta nestes meses (EZEQUIEL e FAVORETTO, 2000). Gerdes et al. (1998) relataram 2.920 kg MS ha<sup>-1</sup>em pastagem do cv. Tanzânia, após 35 dias do corte no período do verão, enquanto Corrêa et al. (1998) verificaram disponibilidades de 3.300 kg MS ha<sup>-1</sup>por corte.

Além dos fatores climáticos, os métodos de manejo são determinantes da produção e específicos para cada espécie e região. As pastagens apresentam estacionalidade de crescimento durante o ano, e as condições climáticas como temperatura, luminosidade e disponibilidade hídrica (VALLENTINE, 1990), além da fertilidade do solo (ZIMMER e EUCLIDES, 1997), determinam o momento de entrada dos animais para o pastoreio e da qualidade da forragem.

Pinheiro (2002) usando uma metodologia para estimativa da produtividade do capim-tanzânia através de um modelo matemático calibrado em função do somatório de unidades fototérmicas e níveis de adubação nitrogenada, estimou à máxima produção de 4.570,8 kg MS ha<sup>-1</sup> no mês de fevereiro, e a mínima produção de 292,30 kg MS ha<sup>-1</sup>no mês de julho, após um período de 36 dias de descanso, o maior nível de adubação usado no modelo foi de 2.079 kg N ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. A produção de MS do capim-tanzânia apresentou estacionalidade devido aos fatores de crescimento (radiação solar e temperatura) e aumentou linearmente com o aumento dos níveis de adubação (PINHEIRO, 2002).

As gramíneas do gênero *Panicum* são tão exigentes ou mais que as culturas tradicionais em fertilidade do solo. Portanto, para a exploração intensiva das pastagens, a correção do solo e a adubação estão entre os fatores determinantes do nível de produção das pastagens (SOUZA, 2005).

No geral os capins do gênero *Panicum* são mais produtivos que os cultivares de *Brachiaria*, líderes em exploração de pastagens, são mais exigentes em fertilidade do solo e respondem à adubação com incremento na biomassa (ZIMMER e EUCLIDES, 1997), podendo atingir produções de até 26 t MSha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> (SANTOS, 2008). O potencial de produção animal de pastagens adubadas intensivamente é segundo Corsi e Santos (1995) entre 1.600 e 2.000 kg Peso vivo (PV) ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. No entanto, para que a forrageira se desenvolva, condições mínimas de clima e manejo devem ser atendidas.

Além do efeito das épocas do ano no crescimento das forrageiras, a localização geográfica e o clima regionalizado também exercem influência na produção de forragem. Entre 20° e 30° de latitude encontram-se as regiões do globo onde ocorre o maior aporte anual de energia solar, favorável à fotossíntese e ao crescimento das plantas, porém com as variações climáticas entre as estações do ano, a produção nestas áreas para as plantas mais susceptíveis aos efeitos do frio é limitada pela temperatura mínima durante o inverno (COOPER e WILSON, 1970).

Os cultivares de *Panicum*, normalmente, não toleram períodos de estiagem superiores a quatro ou cinco meses, com susceptibilidade a temperaturas abaixo de 14°C (COOK et al.; 2004). A faixa de temperatura ótima de cultivo não é bem conhecida ainda, alguns autores relacionam a temperatura ótima com a faixa de temperaturas de 20°C a 30°C (LUDLOW e WILSON, 1970) e outros de 19,1°C a 22,9°C (RUSSEL E WEBB, 1976).

No Brasil, o *Panicum* se distribui nas regiões de melhores condições ao seu desenvolvimento. A distribuição espacial da experimentação a campo sugere os locais em que há cultivo da espécie para uso em atividade pecuária (BOSI et al.; 2013) (Figura 1).

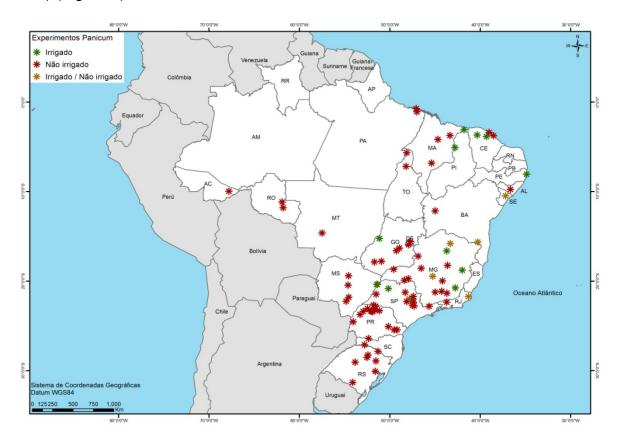


Figura 1 -Distribuição geográfica de experimentos realizados com *Panicum* no Brasil nos anos de 2002 a 2011

Fonte: Bosi et al.; 2013.

Os experimentos com *P. maximum* no Brasil localizam-se em latitudes menores de 32°S e altitudes de até 1380 metros, nestes locais a temperatura média é entre 16,5°C e 26,8°C e chuva anual de 960 a 2457 mm (BOSI et al.; 2013).

Destaca-se dentre as regiões de cultivo do *Panicum* no país o Estado de São Paulo, com uma distribuição da planta forrageira localizada mais ao oeste e noroeste do estado. As pastagens em geral correspondem a uma área aproximada de 40% de áreas ocupadas por estabelecimento agrícolas no território (Figura 2).

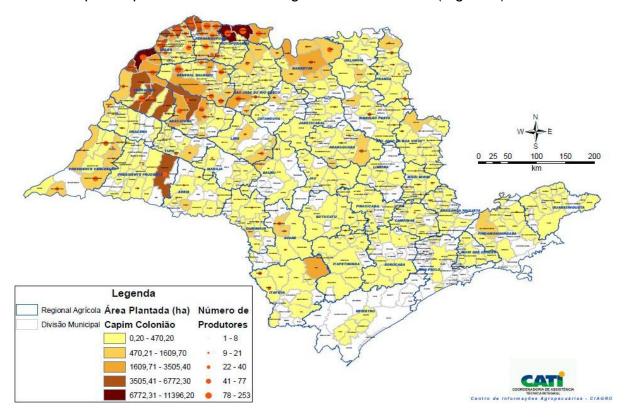


Figura 2 -Distribuição geográfica de área cultivada de capim-colonião e número de produtores no censo de 2007/2008 realizado pela CATI

Fonte: LUPA, 2008

A presença da forrageira no estado indica que este possui grande aptidão para seu cultivo e possibilidades de sua exploração nos sistemas de produção de bovinos a pasto que apresentam grande participação dentro do setor primário na economia nacional (CEPEA, 2013).

### 2.2 Perfil agrícola do Estado de São Paulo

O Estado de São Paulo abrange uma extensão territorial de 248.223,21 km² do território nacional com uma estimativa de população por volta de 42.304.694 habitantes (IBGE, 2010). O estado apresentou em 2011, alto grau de

desenvolvimento urbano com 95,94% de grau de urbanização com um rendimento na economia nacional PIB de 1.247.595,23 milhões de reais (SEADE, 2013) e dentre as atividades exploradas no estado no mesmo ano a agropecuária teve participação no valor adicionado ao PIB de 1,87% (IBGE, 2011; SEADE, 2013).

No Estado de São Paulo a ocupação do solo por pastagens cultivadas corresponde a 39,37% da área total, 8.0720.849 ha, sendo que as forrageiras do gênero *Panicum* ocupam por volta de 210.114,75 ha.

O estado é divido em regiões que englobam os municípios de maior afinidade entre as atividades exploradas, conhecidas como regiões administrativas (SEADE, 2013).

### 2.2.1 Regiões administrativas

Os municípios do Estado de São Paulo são agrupados em 15 regiões administrativas e sub-regiões metropolitanas. Na Tabela 1 são demonstradas as diferenças na participação de cada região no PIB do estado e a participação da agropecuária no total do valor adicionado ao PIB.

Tabela 1 -Regiões administrativas e metropolitanas do Estado de São Paulo, com suas participações no PIB do estado em 2011 (%) e a participação da agropecuária no total do valor adicionado em 2011 (%)(SEADE, 2013)

Região Administrativa	Participação no PIB do estado (%)	Participação da agropecuária no total do valor adicionado (%)
Central	1	6,74
Araçatuba	1	8,72
Barretos	1	11,85
Bauru	1	6,40
Campinas	21	1,83
Franca	1	7,66
Marília	1	7,97
Presidente Prudente	1	7,60
Registro	0	20,28
Ribeirão Preto	2	3,50
Santos	3	0,30
São José do Rio Preto	2	9,13
São José dos Campos	5	0,88
Sorocaba	4	6,67
Metropolitana de São Paulo	56	0,05

Existe grande variação entre as regiões administrativas na participação da agropecuária no total do valor arrecadado com a atividade no PIB, o valor da terra, o lucro das atividades e as condições climáticas são os condicionantes da preferência de cada exploração (OLIVETTE et al.; 2011).

As estatísticas da agropecuária no estado demonstram que regiões como a de Registro, com participação da atividade no PIB do setor agropecuário de 20%, pouco contribuem ao PIB total do estado, sendo justificado pelo baixo valor por hectare e reduzido retorno anual devido às condições das pastagens, embora a

capacidade produtiva seja considerada boa (OLIVETTE et al.; 2011) A participação da região no PIB do estado se deve principalmente a lavouras de banana correspondendo a 80% do valor da produção agropecuária (MMA, 2012).

A pecuária a pasto no estado arrecadou, em 2012, por volta de 8,45 bilhões de reais, 11,2% do valor da produção agropecuária paulista (IEA, 2013).

No ano de 2013, no oeste paulista, nas regiões de Araçatuba, São José do Rio Preto e Presidente Prudente, 62% das áreas foram ocupadas por pastagens cultivadas e laranja. Na região leste, região de São José dos Campos, devido ao relevo e proximidade com a Serra do Mar, pouco foi mudado em relação à exploração da agropecuária devido às dificuldades de mecanização em altitudes elevadas. Na região sul, região de Registro, a banana é a principal atividade e a região sudeste, regiões de Marília, Bauru e Sorocaba, é a mais diversificada, porém o reflorestamento na região tomou parte das áreas de pastagens levando à redução de área disponível (LUPA, 2008; OLIVETTE et al.; 2011; MAPA, 2013)

As áreas de culturas e de pecuária a pasto tiveram uma redução de 300 mil hectares em relação à ocupação do solo desde o final da década de 1980, porém a maior redução se deu a partir de 2003, ocorrendo retração horizontal da fronteira agropecuária paulista (LUPA, 2008; SEADE, 2013). No geral a redução da área de pastagem cultivada levou à intensificação da atividade e emprego de novas tecnologias, com o aumento da produtividade das culturas.

As regiões em destaque na pecuária são aquelas que hoje têm maior participação em área de pastagem cultivada, sendo a região de Presidente Prudente em primeiro lugar, com um total efetivo de bovinos para corte de 1.227.757 cabeças, em segundo Marília com 770.034 cabeças, em terceiro Sorocaba com 753.095 cabeças e em quarto lugar a região de Araçatuba com 714.195 cabeças (IEA, 2013).

As constantes mudanças nas áreas de produção das principais culturas agrícolas e de pastagens podem ser influenciadas, além da necessidade da produção de alimento para o homem, pelas mudanças no clima e pela ocorrência de eventos extremos, como geadas e secas abruptas, que também apresentam elevada influência na determinação das áreas de cultivo mais aptas a cada cultura.

### 2.3 Mudanças climáticas e modelos climáticos

Com a evolução do homem e a sua necessidade de sobrevivência e adaptação ao meio, muitas ações levaram a modificações permanentes do meio ambiente e algumas em contínua transformação (IPCC, 2007). Uma grande transformação observada no meio ambiente foi em relação às variações nos elementos climáticos como a temperatura e incidência de chuva.

Em 2007 o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) atribuiu grande parte da responsabilidade pela alteração da concentração de gases de efeito estufa às ações humanas e destacou a vulnerabilidade dos países em desenvolvimento, incluindo o setor agrícola. Essas constatações destacaram a necessidade de avaliação da vulnerabilidade por meio do dimensionamento dos impactos dos cenários futuros de mudanças climáticas globais sobre a agricultura, definindo-se assim cenários agrícolas futuros sujeitos a condições de riscos climáticos diferentes das atuais (ASSAD et al.; 2007).

Desde o primeiro relatório do IPCC em 1990, as projeções avaliadas sugeriram aumentos da temperatura média global entre cerca de 0,15°C e 0,3°C por década para o período de 1990 a 2005. Essas projeções agora podem ser comparadas com os valores observados de cerca de 0,2°C por década, fortalecendo a confiança nas projeções de curto prazo (IPCC, 2007).

No século XX houve um aumento de 0,65% na média da temperatura global, e a precipitação aumentou de 0,2 a 0,3% na região tropical, compreendida entre 10° de latitude Norte e 10° de latitude Sul (IPCC, 2007).

Os impactos das mudanças climáticas na América Latina têm ocorrido em decorrência de eventos extremos, como secas, enchentes, ondas de calor e de frio, furacões e tempestades. Um exemplo é o do fenômeno climático El niño, causando eventos marcantes como as chuvas intensas na Venezuela nos anos de 1999 a 2005, alagamentos nos Pampas Argentinos entre 2000 a 2002, eventos de seca na Amazônia no ano de 2005 e tempestades e o furacão Catarina no Atlântico Sul em 2004, ocasionando grandes perdas na área agrícola e urbana (TRENBERTH e STEPANIAK, 2001). Também se podem mencionar, no Brasil, as secas já observadas no Sul do Brasil em 2004, 2005 e 2006. Há, ainda, impactos

relacionados, como alterações na biodiversidade, aumento no nível do mar e impactos na saúde, na agricultura e na geração de energia hidrelétrica que já podem estar afetando o Brasil, assim como o restante do planeta (MARENGO e CAMARGO, 2007).

De acordo com o IPCC a agricultura é responsável por 13,5% das emissões anuais de gás carbônico equivalente (IPCC, 2001) e as emissões de gases intensificam os fenômenos El niño e La niña que tem levado ao aumento da incidência de doenças e pragas como exemplo o fungo *Fusarium* do milho no Brasil (IPCC, 2007).

As projeções de cenários de clima futuro em relação à disponibilidade de água e dos aumentos de temperatura interferindo nos processos de evapotranspiração deram início às análises de tendências a partir dos modelos matemáticos capazes de prever e gerar cenários futuros com base em uma visão global de como as mudanças climáticas interferem na vida humana, nos recursos hídricos e no sistema de produção de alimentos. E veio do conceito de "Dowscalling" reduzindo a escala de observação o estudo da regionalização dos impactos das mudanças do clima sobre a agricultura (ASSAD et al.; 2007).

A regionalização dos cenários de mudanças climáticas segue a metodologia desenvolvida pelo Centro Hadley, da Inglaterra, uma das principais instituições a estudar as mudanças do clima no mundo (JONES et al.; 2003). Neste centro foi desenvolvido o modelo regional de clima HadRM3 podendo ser facilmente aplicado em qualquer área do globo para gerar predições detalhadas de mudanças climáticas.

O sistema de modelagem PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies), oriundo do modelo HadRM3, é avaliado por grupos nos países em desenvolvimento assim eles podem desenvolver cenários de mudanças climáticas em centros nacionais de pesquisa (JONES et al.; 2003). O programa trabalha com escalas de espaço mais reduzidas em uma resolução de 50 km x 50 Km, permitindo verificar o impacto das mudanças do clima até mesmo em pequenos municípios (comunicação pessoal), aperfeiçoando a caracterização dos cenários climáticos futuros.

Estudos feitos por Gonçalves et al. (2002), verificaram que a amplitude térmica apresenta tendências negativas fortes no período compreendido entre 2020 a 2080 no Brasil, sugerindo que as tendências na temperatura mínima são mais

intensas que as máximas, especialmente no verão. Isto também foi detectado para o Estado de São Paulo. Marengo (2007), estudando em uma escala menor o clima para a cidade de Campinas, encontrou tendências positivas da temperatura mínima que ultrapassou os 2,5°C. Estas tendências não podem ser atribuídas somente à variabilidade natural do clima, mas também ao efeito antropogênico associado ao crescimento das cidades (MARENGO, 2007). Marengo e Camargo (2007) sugerem que o aquecimento observado parece ser mais intenso no inverno em comparação ao verão, possivelmente devido ao aumento do número de noites quentes no inverno.

Pesquisas com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo com projeções para 2050 mostram um aumento de 96 para 129 t MS ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> sugerindo uma resposta positiva ao aumento de temperatura e a uma normalização na distribuição de chuvas no estado (MARIN et al.; 2012). Segundo os autores fica evidente o fato de que a dinâmica do clima global esta em constantes mudanças, porém ainda são escassos os resultados obtidos para projeções de cenários futuros em situações regionalizadas. Considerando o clima global, as mudanças atendem a uma média do que ocorre em todas as regiões do globo, mas quando individualizadas as regiões, as mudanças são em proporções diferentes, tendo regiões com comportamentos opostos dependente da localização no mapa (MARENGO, 2007).

### 2.4 Modelagem do crescimento e produção de plantas forrageiras

A modelagem do crescimento de plantas forrageiras tropicais tem sido uma ferramenta útil para um melhor entendimento da sazonalidade de produção devido às particularidades climáticas de cada localidade (VILLA NOVA et al.; 1999; TONATO et al.; 2010; PEDREIRA et al.; 2011.)

Modelos de crescimento mecanísticos têm sido utilizados recentemente para simular o crescimento de pastagens tropicais e subtropicais (RYMPH, 2004;CORSON et al.; 2007). Tais modelos são complexos e necessitam de conhecimentos sobre diversos processos fisiológicos da planta e sobre como cada variável ambiental influencia esses processos (BOOTE et al.;2002, PEDREIRA et al.; 2011). Assim a aplicação desses modelos em grande escala é difícil, pela falta de conhecimento dos processos fisiológicos que ocorrem no dossel, pela dificuldade de

desenvolvimento de modelos que integrem todos os processos fisiológicos e pela dificuldade de obtenção de dados relacionados ao clima e ao solo.

A utilização de modelos empíricos torna-se uma ferramenta viável, capaz de representar de forma simplificada as relações entre a resposta fisiológica da planta e as variáveis ambientais, durante os diferentes estádios fenológicos de uma cultura.

### 2.4.1 Determinantes da produção de forragem

É através da fotossíntese que a comunidade de plantas consegue fixar e dispor da energia necessária para todos os demais processos morfofisiológicos determinantes e condicionadores da produção vegetal (perfilhamento, produção de tecidos da parte aérea e raízes, acúmulo de reservas orgânicas, etc.) (Da SILVA e PEDREIRA, 1997). Os organismos fotossintetizantes utilizam a energia solar para sintetizar compostos carbonados que não poderiam ser formados sem um aporte de energia, essa energia luminosa impulsiona a síntese de carboidratos e a liberação de oxigênio a partir de dióxido de carbono e água (TAIZ e ZEIGER, 2009).

Dentre os principais fatores que afetam a fotossíntese destacam-se características ligadas às plantas como: disponibilidade de pigmentos fotossintetizantes, disponibilidade de enzimas e co-fatores e quantidade de cloroplastos e outros fatores que estão vinculados ao ambiente dentre eles: concentração de CO<sub>2</sub>, temperatura, intensidade luminosa e comprimento de onda e disponibilidade hídrica (BUXTON e FALES, 1994).

Dificilmente na prática as plantas encontrem um ambiente ideal para o crescimento, na verdade o que ocorre é uma série de flutuações ambientais ou situações de estresse que modificam sua morfologia e taxa de crescimento. Grande parte dos agentes estressores exerce maior impacto sobre a produtividade da forragem do que sobre a digestibilidade ou outros fatores relacionados à sua qualidade (HERLING et al.; 2001). Fatores ambientais também influenciam taxas de senescência e quantidade de material vegetal morto (BUXTON e FALES, 1994).

Dentre os fatores ambientais, a temperatura atua na regulação do desenvolvimento de qualquer espécie vegetal. As temperaturas diurnas devem ser próximas do ótimo para fotossíntese e crescimento, enquanto que devem ser mais baixas à noite, a fim de conservar energia pela redução na respiração.

A temperatura provoca efeito imediato sobre os processos bioquímicos (respiração e fotossíntese), físicos (transpiração) ou morfogênicos das plantas (LEMAIRE e AGNUSDEI, 2000). Cooper e Tainton (1968) reportaram que o crescimento da raiz aumenta com a diminuição da temperatura e o crescimento da parte aérea é favorecido sob temperaturas mais elevadas para as gramíneas C<sub>4</sub>.

As plantas respondem às mudanças de temperatura por meio de adaptações e aclimatações fenotípicas com diferentes respostas morfológicas, histológicas, estruturais e bioquímicas. O processo que comanda todas essas respostas está diretamente ligado à assimilação dos fotossintatos pelo aparato fotossintetizante e à alocação e distribuição dos fotoassimilados para os diversos órgãos da planta, durante o crescimento e diferenciação destes órgãos de assimilação (LAMBERS et al.; 1998).

É durante a fase inicial de crescimento, quando as plantas estão no pico de suas atividades metabólicas como fotossíntese, respiração, absorção de substâncias minerais, que se manifestam as características da plasticidade fenotípica e as adaptações modificativas em relação às condições do habitat (LARCHER, 2000).

Durante o crescimento do tecido vegetal respostas como: o aumento da relação parte aérea: raiz, o alongamento de caules, pecíolos e entrenós, o alongamento da lâmina foliar em gramíneas, a redução da ramificação e do perfilhamento, o aumento da área foliar específica e as alterações na relação folha: caule e no ângulo de inclinação das folhas ocorrem em decorrência das mudanças de temperatura ao longo do ano e da incidência de luz (FERNÁNDEZ et al.; 2004).

Com relação ao efeito direto da temperatura no processo fotossintético, pode-se dizer que a inibição da fotossíntese ocorre em temperaturas acima de um ponto ótimo, resultando em perda potencial da produtividade fotossintética (SALVUCCI e CRAFTS-BRANDNER, 2004). Em plantas que crescem em elevadas altitudes e longitudes, que são adaptadas ao frio e são ativas no inverno, a fotossíntese pode funcionar sem danos de 0 a 30 °C (MAWSON et al.; 1986). Para plantas de ambientes quentes, como as espécies tropicais e espécies de ambiente desértico, a fotossíntese opera entre 15 e 45 °C, sem problemas aparentes (BERRY e RAISON 1981; BUNCE, 2000).

Quando a temperatura do ar ultrapassa as temperaturas base inferior e superior das plantas, podem ocorrer prejuízos às relações ecológicas que se estabelecem em um ecossistema, bem como interrupção do crescimento da planta, com

consequente diminuição da produtividade agrícola. De maneira geral, para que o crescimento ocorra mais satisfatoriamente, a temperatura deve estar entre 30 e 40 °C para plantas forrageiras tropicais e subtropicais, e entre 15 e 30 °C para forrageiras temperadas (RODRIGUES, et al.; 1993). A diferenciação celular, por outro lado, pode ocorrer em baixas temperaturas, embora seja lenta (HARTSEMA et al.; 1930).

As plantas respondem simultaneamente aos fatores de luminosidade como o fotoperíodo e a intensidade de luz e ao fator temperatura (ROLIM, 1980). Apesar do efeito da temperatura ser aparentemente mais relevante cada fator tem sua parcela de importância, e deve ser cuidadosamente estudado.

O comportamento das gramíneas tropicais é estacional com maiores taxas de crescimento no período de maior precipitação e temperaturas mínimas médias acima de 25 a 30° C (PEDREIRA e MATTOS, 1981) e não existe uma espécie capaz de permanecer com alta produção durante o período seco. Santos (2008) determinou para gramíneas do gênero *Panicum*, temperatura ótima de cultivo de 35°C e as temperaturas mínima de crescimento de 10°C e máxima de 50°C, corroborando os resultados da revisão feita por Rodrigues et al (1993) que encontraram para a temperatura ótima de cultivo uma faixa de 30 a 35°C, para a temperatura mínima 15°C e máxima de 50°C, caracterizando a aptidão térmica do *Panicum*.

Outro limitando para as plantas é a disponibilidade hídrica do meio resultante do balanço hidrológico da localidade em que se inserem, o fator água é essencial para que todos os processos fisiológicos e bioquímicos das plantas ocorram.

A água é uma das mais importantes substâncias do planeta e é essencial para a existência da vida (LUCCHESI, 1987). Dessa forma, a água funciona como um indicador de distribuição das plantas no planeta. A água é o principal constituinte dos vegetais apresentando função no transporte (deslocamento de soluto e gases), reagente no metabolismo vegetal (fotossíntese, hidrólise de carboidratos), turgescência celular, forma e estrutura dos órgãos (folhas, flores e frutos) e mecanismo estomático (LUCCHESI, 1987).

Para que a planta forrageira possa explorar seu potencial produtivo, o teor de umidade do solo necessita estar adequado. Outro aspecto importante é a capacidade de captação do sistema radicular da espécie utilizada.

Em condição de déficit hídrico, as plantas diminuem suas taxas fotossintéticas e respiratórias ocasionando mudanças no crescimento e desenvolvimento da

espécie. Após o término da condição de estresse, a atividade metabólica é retomada rapidamente em uma intensidade relativamente maior que as plantas de mesma idade que não sofreram estresse (SANTOS e CARLESSO, 1998).

Alguns mecanismos são utilizados pelas plantas para escape e tolerância durante o período de deficiência hídrica como: desenvolvimento fenológico rápido, plasticidade de desenvolvimento, fechamento estomático, enrolamento das folhas, modificação do ângulo foliar, diminuição de expansão celular da folha, aumento da expansão celular da raiz, modificações no sistema radicular, diminuição da área foliar, acúmulo de carboidratos nas raízes, ajuste osmótico entre outros (CASTRO et al.; 2007).

Em condição de excesso hídrico muitas espécies são prejudicadas. As respostas variam com o tipo de planta, com a duração e a época da inundação e também com a condição da água em excesso, sendo que a água em movimento é geralmente menos prejudicial do que a água parada (RODRIGUES et al.; 1993).

O conteúdo de água no solo interfere nas relações hídricas, na fisiologia e morfologia das plantas (TAIZ e ZEIGER, 2009), e o déficit hídrico acontece quando a taxa de transpiração excede a absorção e o transporte de água na planta (BERKOWITZ, 1998).

A baixa disponibilidade de água nos solos causa a desidratação das plantas, redução no crescimento e aceleração da senescência dos tecidos, prejudicando o crescimento e determinando redução da taxa de expansão foliar, redução da fotossíntese (BENNETT e SULLIVAN, 1981) e redução da taxa de emergência foliar (VAN LOO, 1992).

Com os estudos dos dados climáticos e com os efeitos do déficit hídrico na produção é possível determinar os períodos mais adequados para o plantio, redução na probabilidade do estresse hídrico em momentos cruciais no desenvolvimento da produção. O *Panicum maximum* é recomendado para regiões com níveis de precipitação pluvial de 800 a 1.800 mm ha<sup>-1</sup>(MUIR e JANK, 2004), determinando a aptidão do local para a exploração da forrageira.

Santos et al. (2011) avaliaram os possíveis impactos das mudanças climáticas globais sobre o cultivo de *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum* no Semiárido brasileiro, gerando mapas de precipitação atual a partir de séries climáticas de no mínimo 20 anos de dados em 678 estações meteorológicas, definindo três faixas de aptidão: 1 – não aptas, regiões com precipitação média

anual inferior a 600 mm; 2 – aptidão restrita, precipitação média anual entre 600 mm e 800 mm; e 3 – aptas, precipitação média anual superior a 800 mm. Com base apenas nas variáveis analisadas não foi possível definir as regiões de aptidão com precisão devido à grande variabilidade no regime anual de chuvas, mas o estudo indica que alterações na temperatura média e precipitação podem influenciar o desenvolvimento da forragem e reduzir a produtividade da atividade pecuária.

## 2.4.2 Modelagem aplicada à produção vegetal

A tecnologia de modelagem consiste na simulação de cenários que exprimem a realidade dentro de um contexto histórico, através de sistemas que transcrevam o que ocorre no meio ambiente para o meio computacional (BERNARDES e TERAMOTO, 2007).

Os estudos de zoneamento de plantas forrageiras disponíveis abordam, principalmente, aspectos de aptidão edafoclimática das espécies (JONES, 1976; NASCIMENTO, 1975) e não permitem simular os impactos das mudanças climáticas globais sobre estas culturas.

Os modelos de zoneamento de risco climático desenvolvidos ou adaptados no Brasil para as culturas agrícolas não são adequados para as espécies forrageiras. No caso das pastagens, explora-se o desenvolvimento vegetativo das plantas, o que implica em diferenças fundamentais na determinação do risco climático à cultura quando comparada àquelas cuja produção depende da fase reprodutiva de desenvolvimento (ex.: grãos).

Para a geração de cenários agrícolas futuros para as pastagens se faz necessário o desenvolvimento de modelos matemáticos de predição da produtividade dos pastos que associem o crescimento das plantas à magnitude das variáveis climáticas. O enfoque sistêmico viabilizado pelo uso de modelos de simulação de crescimento e de desenvolvimento das plantas permite integrar os efeitos de diferentes condições edafoclimáticas sobre o comportamento da cultura, possibilitando o estudo e a compreensão, em maior detalhe e de uma forma mais complexa e integrada, dos processos básicos de todas as respostas fisiológicas e agronômicas das mesmas (SANTOS et al.; 2011).

Os modelos desenvolvidos para previsão de produtividade das pastagens podem ser divididos em modelos de produtividade potencial, com fatores que

definem as máximas taxas de crescimento, como as características genéticas, luz e temperatura, de produtividade restrita, que considera fatores limitantes como água e nutrientes, e os modelos de produtividade reduzida, que consideram fatores como plantas invasoras, pragas e doenças (BARIONI et al.; 2003).

Modelos simples, baseados nos conceitos de graus-dias e balanço hídrico sequencial são outras formas de se determinar a produtividade. Diversas abordagens e estudos envolvendo técnicas de modelagem matemática são capazes de prever parâmetros produtivos, baseados em variáveis climáticas como temperatura (soma térmica diária "Graus-Dia"), (JOHNSON e THORNLEY, 1985) e fotoperíodo associado à soma térmica diária (unidades fototermicas) (VILLA NOVA et al.; 1999; MEDEIROS et al.; 2005). Estes modelos que correlacionam à produção de biomassa em função das variáveis climáticas são adequados apenas para condições de ausência de restrição hídrica, denominado também de produtividade potencial. As incorporações de modelos de balanço hídrico sequencial aos modelos de origem climática podem permitir a predição de parâmetros produtivos em condições com restrição hídrica.

Modelos empíricos tem apresentado bons desempenhos quanto a predição das taxas de acúmulo de massa seca para pastagens irrigadas de *P. maximum* c.v Tanzânia (CUNHA et al.; 2008; ALMEIDA et al.; 2011), sendo a temperatura do ar e o fotoperíodo as principais variáveis envolvidas nos modelos desenvolvidos (ARAÚJO, 2010).

Tonato (2010) integrou em um banco de dados a produção e acúmulo de forragens de cinco experimentos com as principais gramíneas forrageiras no Brasil Central. Três gêneros foram avaliados *Cynodon*, *Panicum* e *Brachiaria* e para cada período de crescimento foram estipulados parâmetros preditores da taxa média de acúmulo de forragem (TMA), a temperatura média (Tméd), temperatura máxima (Tmáx), temperatura mínima (Tmín), radiação global incidente (Rad) e dias do ano (DA). Os parâmetros foram introduzidos em modelos simples e estatisticamente equivalentes. Para as estimativas de TMA, os modelos de Tméd, Tmáx, Tmín e Rad apresentaram alta correlação na predição e altos coeficientes de determinação dos valores de TMA (TONATO, 2010), justificando o uso destas variáveis nos modelos de produção vegetal.

A fim de aperfeiçoamento dos dados encontrados, Tonato (2010) realizou um estudo com objetivo de verificar as correlações existentes entre fatores climáticos e

TMA em gramíneas tropicais. O autor observou que quando se incluía ao modelo um simples fator hídrico (considerando o número dias com chuvas), além dos graus-dia e fotoperíodo, os dados estimados aproximavam-se consistentemente dos valores observados.

Pezzopane et al. (2012) avaliaram os parâmetros climáticos como temperatura mínima e média, graus-dia, evapotranspiração potencial e atual e os correlacionou com a TMA do capim-tanzânia, durante 53 períodos de crescimento da forragem entre os anos de 2000 e 2005 em condições de sequeiro. Os efeitos da temperatura e das condições hídricas limitaram a produção forrageira simultaneamente com uma variação no acúmulo de até 160 kg MS ha<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup> (PEZZOPANE et al.; 2012).

Para a melhoria dos modelos matemáticos, o entendimento dos efeitos do clima sob a produção das principais espécies forrageiras é essencial. Em modelos de processos, eventos fisiológicos, bioquímicos e morfológicos das plantas devem ser estudados para que a predição e simulação de cenários futuros tenha uma margem de segurança maior (BOOTE et al.; 2002; PEDREIRA et al.; 2011).

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

# 3.1 Delimitação e caracterização da área de estudo:

O Estado de São Paulo está localizado na região Sudeste do Brasil e possui uma área aproximada de 248.223,21km².

Para a caracterização do clima e produção da região foram utilizadas 28 estações meteorológicas. Sendo 12 estações pertencentes ao Estado de São Paulo e 16 estações limítrofes, localizadas próximas à divisa do estado com os estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraná e Rio de Janeiro. Na Tabela 2 estão representadas as estações e sua localização geográfica e na Figura 3 suas localizações no Estado de São Paulo.

Tabela 2 -Identificação das Estações Meteorológicas

ID*	Estação	UF	Latitude (Sul)	Longitude (oeste)	Altitude (m)
1	Araxá	MG	-19.60	-46.93	973
2	Uberaba	MG	-19.73	-47.95	744
3	Frutal	MG	-20.03	-48.93	546
4	BR-459	MG	-21.91	-46.38	1072
5	São Lourenço	MG	-22.10	-45.01	1030
6	Maria da Fé	MG	-22.30	-45.38	1281
7	Passa Quatro	MG	-22.38	-44.96	929
8	Paranaíba	MS	-19.75	-51.18	408
9	Ivinhema	MS	-22.30	-53.81	346
10	Londrina	PR	-23.31	-51.13	550
11	Maringá	PR	-23.40	-51.91	511
12	Castro	PR	-24.78	-50.00	976
13	Curitiba	PR	-25.43	-49.26	913
14	Rio de Janeiro	RJ	-23.01	-44.31	4
15	Resende	RJ	-22.45	-44.43	415
16	Santa Cruz	RJ	-22.91	-43.68	7
17	Votuporanga	SP	-20.41	-49.98	497
18	Franca	SP	-20.58	-47.36	994
19	Catanduva	SP	-21.11	-48.93	565
20	São Simão	SP	-21.48	-47.55	698
21	São Carlos	SP	-21.96	-47.96	853
22	Presidente Prudente	SP	-22.11	-51.38	474
23	Taubaté	SP	-23.03	-45.55	596
24	Guarulhos	SP	-23.43	-46.46	746
25	Sorocaba	SP	-23.48	-47.43	592
26	São Paulo	SP	-23.50	-46.61	757
27	Sacomã	SP	-23.65	-46.61	787
28	Campos de Jordão	SP	-22.75	-45.60	1668

<sup>\*</sup>Identificação

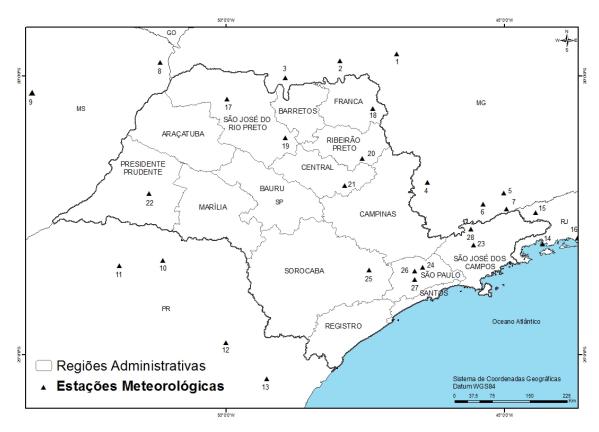


Figura3- Localização geográfica das estações meteorológicas e divisão do Estado de São Paulo em regiões administrativas

# 3.2 Caracterização climática do Estado de São Paulo

Segundo a classificação de KOPPEN, a região possui sete tipos climáticos, Cwa, Cwb, Aw, Am, Cfa, Cfb e Af. O Cwa (tropical de altitude) é o de maior predominância no Estado de São Paulo, cujas principais características são a presença de chuvas durante a estação do verão e as secas no inverno.

#### 3.3 Dados climáticos

Os dados climáticos (temperatura máxima e mínima e chuva) diários de 28 estações meteorológicas na região sudeste do Brasil foram utilizados para simulação da produção anual do capim-tanzânia.

Para o cenário atual (baseline) foram utilizadas séries de 1964 a 2010. Para os cenários futuros foram utilizadas séries de 2013 a 2040 (cenário 2025) e de 2040 a 2070 (cenário 2055), estimadas pela Embrapa Informática com base nas projeções

do modelo ETA-CPTEC (cenários de baixa, média e alta emissão) e PRECIS (cenários de baixa e alta emissão), adaptados para as condições brasileiras.

### 3.4 Dados de produção

O modelo que estimou a produção da capim-tanzânia foi baseado no trabalho de Pezzopane et al.(2012) tendo sua parametrização alterada com a inclusão de dados de Juiz de Fora, MG, e Sobral, CE.

O modelo foi baseado em estimativa dos parâmetros das regressões lineares simples entre a taxa de acúmulo – TA (variável dependente) de 54 ciclos de crescimento de cultivos irrigados e a variável agrometeorológica graus-dia (GD) (média do período).

Os valores diários de graus-dia (GDi) foram calculados empregando-se as equações:

$$GD_i = (\frac{T \max_i + T \min_i}{2} - Tb)$$
 paraTmin>Tb (Eq.1)

$$GD_i = \frac{(T \max_i - Tb)^2}{2(T \max_i - T \min)} \text{ para Tb>Tmin}$$
 (Eq.2)

Em que: (T max<sub>i</sub>) é a temperatura do ar máxima diária (°C); (Tmin<sub>i</sub>) é a temperatura do ar mínima diária (°C); (Tb) é a temperatura-base (°C), sendo utilizado o valor de 14,3°C, obtida por meio da regressão linear entre a temperatura média do período e a taxa de acúmulo. O valor da Tb foi estimado projetando a equação linear até o eixo x.

Na análise de regressão a estimativa de produção de cultivos irrigados (taxa de acúmulo de matéria seca irrigado - TAMS<sub>i</sub>) baseada na variável graus-dia (GD) foi determinada pela equação:

$$TAMS_i (kg MS ha^{-1} dia^{-1}) = 10,76*GD$$
 (Eq.3)

Para verificar o 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 divisão entre o armazenamento atual de água no solo pelo armazenamento máximo (fator denominado ARM) (variação de 0 a 1), ambos obtidos pelo balanço hídrico climatológico (THORNTHWAITE e MATHER, 1955). Dessa maneira a estimativa de produção de cultivos sem irrigação (taxa de acúmulo de matéria seca - TAMS) utilizada no mapeamento da produção foi determinado por:

$$TAMS (kg MS ha^{-1} dia^{-1}) = 10,76*GD*ARM$$
 (Eq.4)

Para o cálculo do balanço hídrico climatológico, os valores de evapotranspiração potencial (ETP) foram estimados pelo método de Thornthwaite (1948) e os valores de evapotranspiração real (ETR) foram obtidos a partir do balanço hídrico sequencial quinquidial.

Os dados diários foram agrupados em médias (temperaturas máxima e mínima) e totais (chuva) decendiais quando aplicou-se a equação de estimativa da produção (Equação 4). A partir das estimativas decendiais foi estimada a produção anual (somatório dos doze meses). As simulações foram realizadas de maneira sequencial obtendo valores anuais para toda a série de dados dos cenários atual (baseline) e cada um dos cenários futuros.

As simulações foram realizadas para quatro níveis de armazenamento de água no solo, caracterizando solos arenosos (40 mm), solos de textura média (60 mm), solos de textura argilosa (100 mm) e solos com impedimento ou rasos (20 mm).

## 3.5 Espacialização da produção

A partir de uma matriz de dados gerada nas simulações da produção anual do capim-tanzânia para 28 estações meteorológicas da Região Sudeste, a média da produção anual (baseline) assim como a porcentagem de variação (para cada cenário) em relação à produção anual foram interpolados e especializados no software ArcGIS versão 9.3, por meio da extensão Spatial Analyst, utilizando o

método de Ponderação do Inverso das Distâncias (IDW). O método consiste na predição de valores para determinada localidade a partir de valores amostrados à sua volta partindo do pressuposto de que as coisas mais próximas entre si são mais parecidas do que as mais distantes segundo ESRI (2001).

Foram comparados dois métodos de interpolação, o método de Krigagem Ordinária e IDW, as condições para a escolha do método do IDW foram devido ao número reduzido de estações meteorológicas e sua distribuição na área de estudo, sendo mais bem caracterizadas as variações nas regiões com as médias extrapoladas pelo método IDW.

Foi estruturado um banco de dados em SIG com planos de informação dos dados de produção e, a partir da interpolação os mapas dos cenários atuais e futuros foram gerados e confrontados com informações da literatura e dados estatísticos sobre a espécie forrageira estudada para verificar se representavam adequadamente a realidade atual. Os mapas foram gerados no *software* ArcGIS versão 9.3 (ESRI, 2001).

A partir dos resultados quantificados de ocupação e distribuição espacial da forrageira para os cenários futuros foi analisado o impacto causado pelas mudanças climáticas na distribuição geográfica da cultura e na variação da produção anual.

#### 4 RESULTADOS

## 4.1 Potencial produtivo atual e futuro

A distribuição das produtividades do capim-tanzânia no Estado de São Paulo nas condições atuais de clima foi determinada para cada classe de armazenamento de água no solo (Figura 4). As maiores produções em kg MS ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> foram encontradas na classe de solo com armazenamento de água de 100 mm. Os valores de taxa de acúmulo de massa seca preditos pelos modelos foram crescentes na medida em que se aumentou o armazenamento de água no solo e as mínimas taxas foram encontradas no solo tipo I, indicativo de influência da presença e quantidade de água no solo sobre o crescimento do capim nas áreas avaliadas.

A região de elevada altitude do município de Campos de Jordão (altitude de 1668 m; Figura 4), corresponde à região de menor produção do capim-tanzânia, para o cenário atual de produção.

Na região oeste do estado é onde estão concentradas as áreas de maiores valores de produção, abrangendo as regiões administrativas de Presidente Prudente, Araçatuba, sudoeste da região de São José do Rio Preto e norte da região de Marília. Além disso, elevadas produções são observadas em áreas isoladas ao noroeste da região administrativa de São José dos Campos. Ao sul das regiões de Sorocaba e Registro a produção é a segunda menor.

Na análise comparativa entre a produção atual e os cenários futuros de produção, em aproximadamente 93% do território paulista, nos cenários de baixa emissão projetados para o ano de 2025, o aumento de produção esperado se encontra na faixa de 10 a 20% de variação em relação ao cenário atual. No decorrer dos anos até atingir o ano de 2055, a variação aumentará em 10 pontos percentuais em 82% do território do estado. Esta tendência foi observada em todas demais análises para ambos os modelos (Tabela 3 e Tabela 4).

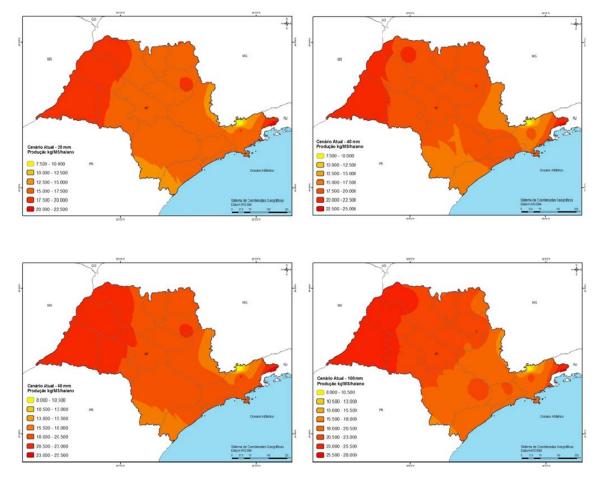


Figura 4 - Cenário atual de produção do capim-tanzânia (Baseline: 1964-2010), em kg MS ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> no Estado de São Paulo para quatro tipos de solos no estado baseados na capacidade de armazenamento de água no solo, sendo solo tipo I – capacidade de armazenamento de água de 20mm; solo tipo II – capacidade de armazenamento de água de 40mm; solo tipo III – capacidade de armazenamento de água de 60mm e solo tipo IV – capacidade de armazenamento de água de 100mm

Tabela 3 - Mudança nas áreas de produção de *Panicum maximum* cv. Tanzânia, variação em km², em função da variação da produção total anual (0 a 10%, 10 a 20%, 20 a 30% e >30%) do Baseline, projetadas pelo modelo ETA para três cenários de mudanças climáticas (baixa, média e alta emissão) nos anos de 2025 e 2055, no Estado de São Paulo

Tipo Solo — (Arm)	Cenário		Variação (% da produção)				
	Ano	Emissão -	0 a 10	10 a 20	20 a 30	>30	
			Variação (km²)				
I (20 mm)		B.E*	1.399.164,98	23.082.437,60	435.674,04		
	2025	M.E**	9.325.427,43	14.718.681,12	736.192,44	133.383,17	
		A.E***	3.007.465,85	735.913,09	21.024.780,41	143.810,23	
		B.E		3.065.466,63	20.922.918,56	926.262,99	
	2055	M.E	1.745.924,02	7.797.995,21	11.419.915,84	3.948.052,09	
		A.E		910.917,57	2.718.665,83	21.284.487,94	
II (40 mm)		B.E	1.982.270,88	22.630.857,29	302.441,64	_	
	2025	M.E	11.062.560,74	13.174.840,34	573.426,49	103.315,20	
		A.E	4.611.971,34	19.547.366,95	643.846,66	111.251,28	
	2055	B.E		2.955.430,18	21.225.657,98	736.168,56	
		M.E	2.762.320,54	7.316.453,38	11.027.846,89	3.803.969,37	
		A.E		1.682.035,26	6.664.560,20	16.566.644,89	
III (60 mm)		B.E	2.061.323,90	22.653.310,27	200.411,79		
	2025	M.E	11.681.813,04	12.672.834,73	469.972,91	92.382,82	
		A.E	5.503.111,08	18.731.100,61	591.149,24	92.362,01	
		B.E		2.715.316,87	21.603.277,61	597.967,02	
	2055	M.E	3.057.944,78	7.172.319,30	10.781.868,27	3.897.599,00	
		A.E		1.174.187,05	5.236.605,40	18.503.531,31	
IV (100 mm)		B.E	2.284.255,51	22.536.289,59	94.296,25		
	2025	M.E	11.502.240,23	12.902.489,77	414.425,52	97.517,42	
		A.E	5.521.352,71	18.683.259,88	616.394,65	96.641,71	
		B.E		2.329.575,62	22.124.201,87	462.312,22	
	2055	M.E	3.011.952,39	7.184.966,65	10.223.927,69	4.489.330,07	
		A.E		6.232.854,67	10.821.034,18	7.859.173,73	

<sup>\*</sup> B.E= baixa emissão; \*\* M.E= média emissão; \*\*\* A.E= alta emissão

Tabela 4 -Mudança nas áreas de produção de *Panicum maximum* cv. Tanzânia, variação em km², em função da variação da produção total anual (0 a 10%, 10 a 20%, 20 a 30% e >30%) do Baseline, projetadas pelo modelo PRECIS para dois cenários de mudanças climáticas (baixa e alta emissão) nos anos de 2025 e 2055, no Estado de São Paulo

Tipo Solo — (Arm)	Cenário		Variação (% da produção)				
	Ano	F:~-	0 a 10	10 a 20	20 a 30	>30	
		Emissão	Variação (km²)				
I (20 mm)	2025	B.E*	1.604.899,20	22.979.868,76	329.911,59		
		A.E**	113.864,39	459.836,40	22.266.007,28	2.073.958,95	
	2055	B.E		1.663.987,40	22.287.313,27	962.656,49	
		A.E			1.179.580,38	23.736.425,08	
II (40 mm)	2025	B.E	1.842.871,67	22.930.690,85	138.370,84		
		A.E	99.914,73	416.710,25	22.579.898,03	1.815.636,61	
	2055	B.E		2.283.733,39	22.177.081,25	450.590,61	
		A.E			1.774.255,96	23.141.646,76	
III (60 mm)	2025	B.E	1.926.391,41	22.829.426,42	155.463,07		
		A.E	102.350,87	414.842,61	22.821.497,33	1.576.296,04	
	2055	B.E		2.614.888,66	22.051.558,54	245.290,55	
		A.E			1.912.409,49	23.000.995,47	
IV (100 mm)	2025	B.E	1.856.719,13	22.871.245,92	185.323,40	_	
		A.E	108.617,96	470.789,02	23.291.456,71	1.042.909,59	
	2055	B.E		2.584.109,66	22.174.756,32	151.951,86	
		A.E			1.969.365,11	22.943.595,34	

<sup>\*</sup> B.E= baixa emissão; \*\* A.E= alta emissão

# 4.2 Modelos ETA e PRECIS: Tendências na variação da produção em relação às mudanças climáticas

As Figuras 5, 6, 7 e 8 representam as variações na produção anual do capimtanzânia, preditas com base no modelo climático ETA-CPTEC. Os modelos fazem referência aos cenários com diferentes níveis de emissão de gases do efeito estufa como parâmetro determinante na previsão dos eventos climáticos. Para o modelo ETA-CPTEC foram projetados três cenários considerando baixa, média e alta emissão de gases.

Para classe de solo do tipo I (Figura 5), no cenário futuro de baixa emissão no ano de 2025, as menores variações encontradas foram ao norte da região administrativa (RA) S.J. do Rio Preto, dois terços ao norte da RA Barretos, ao noroeste da Ra Franca, parte sul da RA Ribeirão Preto e um ponto isolado na região central da RA São Paulo. Os valores previstos foram de 0 a 10% de variação na produção em relação ao cenário atual. Com uma porcentagem de variação de 10 a 20%, para 2055 há previsão de aumento da produção nestas áreas.

Na porção restante da RA S.J do Rio Preto, RA Presidente Prudente, Central, Bauru, Marília, Sorocaba, Registro, Campinas, Ribeirão Preto, Santos, São Paulo e RA Araçatuba e S.J dos Campos com exceção da parte noroeste em ambas as regiões (Figura 5) o aumento na produção foi de 10 pontos percentuais em 2055, exceto a parte central da RA S.J. do Rio Preto e Ribeirão Preto que não apresentaram aumento na produção para o ano de 2055.

Os maiores aumentos foram nas regiões próximas à divisa da RA S.J. do Rio Preto com o Estado de Minas Gerais e da RA Araçatuba com a divisa do Estado do Mato Grosso do Sul e na região serrana da RA S.J. dos Campos, com 20 pontos percentuais entre os anos de 2025 e 2055 (Figura 5).

No cenário de média emissão, a variação da produção em decorrência das simulações feitas pelo modelo climático ETA mostra que as áreas relativas à região RA S.J do Rio Preto, mais precisamente na porção central da região, e à RA Barretos não apresentam mudanças nos valores de variação na produção entre os anos de 2025 e 2055, porém no período previsto a tendência é de aumento de até 10% na produção do cenário futuro (Figura 5).

Ao oeste da RA S.J. dos Campos a variação prevista para o ano de 2025 é acima dos 30%, o que ocorre em 2055 é o aumento da variação para uma área maior da RA se estendendo pela parte central da região até o litoral (Figura 5).

O mesmo ocorre na parte noroeste da RA S.J. do Rio Preto, próximo da fronteira entre os Estados de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, a variação na produção para o ano de 2025 apresenta valor acima dos 30%, com as previsões para 2055, a variação na mesma localidade não aumentou, todavia há previsão de aumento de 10 a 20% da produção nas regiões de contorno se estendendo até a porção noroeste da região RA Araçatuba (Figura 5)

No cenário de alta emissão as regiões noroeste da RA S.J. do Rio Preto e da RA S.J. dos Campos não apresentam mudanças entre o período dos cenários de 2025 a 2055. Os valores de variação na produção apresentaram variação acima de 30% em 2025 em relação ao cenário atual (Figura 5).

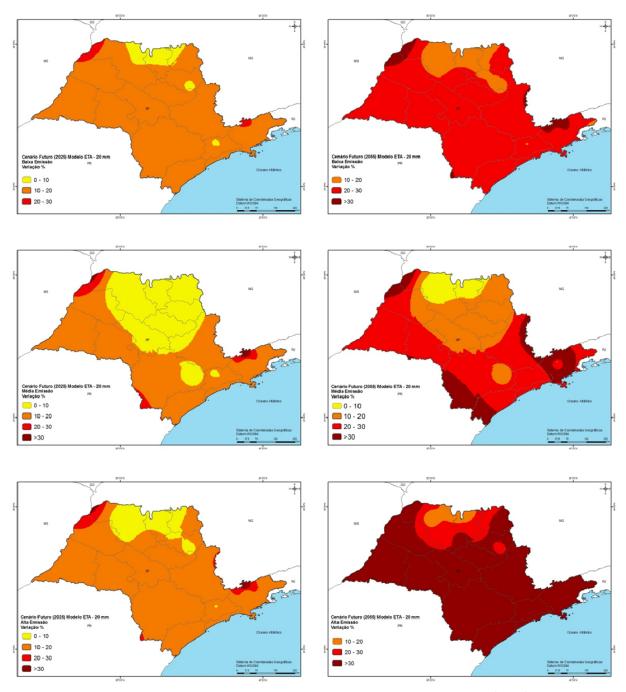


Figura 5 - Mapeamento da variação (%) da produção total anual (kg MS ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) do *Panicum maximum* cv. Tanzânia no Estado de São Paulo para a classe de solo Tipo I (capacidade de armazenamento de água 20 mm), estimadas pelo modelo ETA em três cenários de mudanças climáticas (baixa, média e alta emissão), projetados para os anos 2025 e 2055

Para a classe de solo do tipo II (Figura 6), no cenário de baixa emissão, ao sul da RA Ribeirão Preto para 2025 a previsão de variação da produção foi de 10 a 20% e a mesma se manteve na simulação para o ano de 2055, assim como ao leste da RA S.J. dos Campos, próximo à divisa com o Estado do Rio de Janeiro.

Na porção central da RA São Paulo houve o maior aumento partindo de valores entre 0 a 10% para uma variação entre 20 a 30% na produção anual do capim-tanzânia (Figura 6).

Algumas regiões como a RA S.J. do Rio Preto, Barretos e Franca possuem uma distribuição mais heterogênea das variações na produção do capim. Nas demais localidades a variação foi homogênea por região, ou seja, de uma variação de 10 a 20% por toda a região esta passou a ser de 20 a 30% no ano de 2055 na mesma área correspondente (Figura 6).

No cenário de média emissão as regiões que não apresentaram mudanças em relação ao período de 2025 a 2055 foram as RA S.J. do Rio Preto, Barretos, Franca, Ribeirão Preto, Central, Araçatuba e Presidente Prudente (Figura 6).

A área central da RA de São Paulo, na RA S.J.dos Campos, na faixa partindo da divisa com o Estado de Minas Gerais até o litoral e na região de Registro foram onde ocorreram as maiores variações entre 2025 a 2055 (Figura 6).

Para o cenário de alta emissão houve uma mudança geral nas faixas de variação da produção entre 2025 e 2055. Ao sul da RA de S.J do Rio Preto, Central, Franca, Ribeirão Preto, sul da RA de Araçatuba, Bauru e sul da RA de Barretos a amplitude de variação foi de 20 pontos percentuais em relação à variação inicial de 2025, ou seja, as áreas que antes possuíam variação de 0 a 10% passaram a ter variação de 20 a 30% (Figura 6).

Exceto ao noroeste da RA de S.J dos Campos e S.J do Rio Preto que não apresentaram mudança na faixa de variação da produção de 2025 para 2055, permanecendo com uma variação acima dos 30%, as demais localidade tiveram aumentos significativos em termos de variação na produção anual (Figura 6).

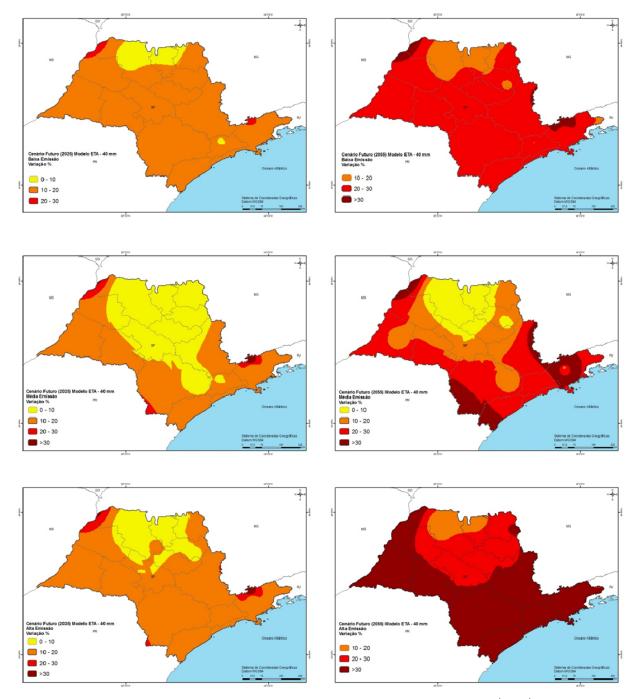


Figura 6 -Mapeamento da variação (%) da produção total anual (kg MS ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) do *Panicum maximum* cv. Tanzânia no Estado de São Paulo para a classe de solo Tipo II (capacidade de armazenamento de água 40 mm), estimadas pelo modelo ETA em três cenários de mudanças climáticas (baixa, média e alta emissão), projetados para os anos 2025 e 2055

Para a classe de solo tipo III (Figura 7), no cenário de baixa emissão, ao norte da RA S.J do Rio Preto, Barretos e Araçatuba houve um aumento de 10 pontos percentuais na variação da produção no período entre 2025 e 2055. A maior amplitude encontrada foi ao oeste da RA S.J dos Campos com 20 pontos percentuais de aumento na variação de um ano do modelo para o outro, por todo o contorno da RA com o Estado de Minas Gerais. A mesma tendência foi verificada também nos limites da RA Campinas com o Estado de Minas Gerais.

No cenário de média emissão o que se observa é um aumento expressivo da produção na região central até o litoral da RA S.J dos Campos e na parte sul da RA Registro (Figura 7).

Na região noroeste do território paulista compreendendo as RA S.J do Rio Preto, Barretos, oeste da RA Central, Ribeirão Preto e de Franca, não houve mudança na faixa de variação da produção em 2055 previamente preditas para o ano de 2025, mas a faixa que se encontra é positiva em relação à variação da produção do capim em função da produção atual (Figura 7).

Para o cenário de alta emissão entre o período de 2025 a 2055 não houve mudanças apenas nas localidades ao noroeste da RA S.J dos Campos. Nas demais localidades uma amplitude de 10 a 20 pontos percentuais foi observada (Figura 7).

Na porção central da RA S.J do Rio Preto e norte de Barretos, a variação foi de 10 pontos percentuais e nas demais a diferença na variação de produção foi de 20 pontos percentuais indicando tendência de aumento no potencial produtivo destas regiões para o desenvolvimento do capim-tanzânia (Figura 7).

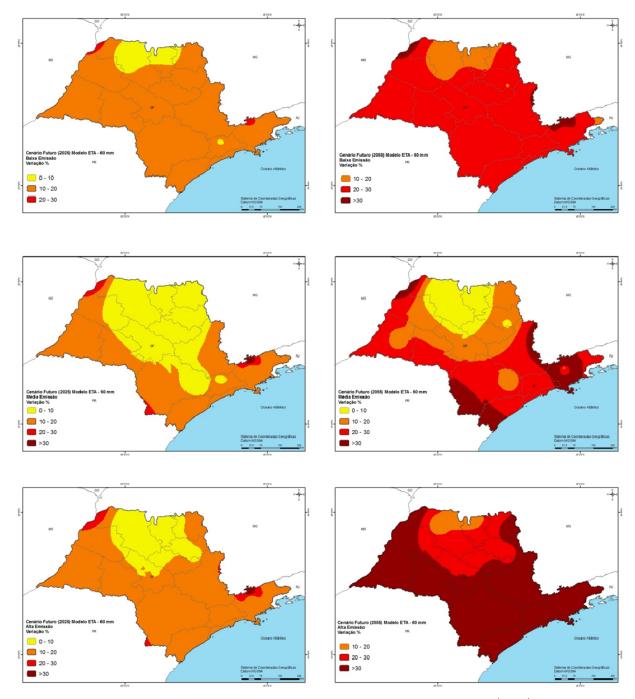


Figura 7-Mapeamento da variação (%) da produção total anual (kg MS ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) do *Panicum maximum* cv. Tanzânia no Estado de São Paulo para a classe de solo Tipo III (capacidade de armazenamento de água 60 mm), estimadas pelo modelo ETA em três cenários de mudanças climáticas (baixa, média e alta emissão), projetados para os anos 2025 e 2055

Para a classe de solo tipo IV (Figura 8), o cenário de baixa emissão segue as tendências já observadas para os cenários de baixa emissão nas classes de solo do tipo I, II e III (Figura 5, Figura 6 e Figura 7)

As localidades em destaque são ao noroeste da RA S.J dos Campos e noroeste da RA Araçatuba e nos limites ao leste da RA Campinas com o Estado de Minas Gerais, onde a amplitude de variação nestas áreas foi de mais de 20 pontos percentuais (Figura 8). Para as demais localidades o aumento previsto na produção foi de 10 pontos percentuais entre os anos de 2025 e 2055.

No cenário de média emissão as regiões que não tiveram mudança na faixa de variação da produção entre 2025 e 2055 foram as RA S.J do Rio Preto, Barretos, oeste da RA Central, Franca, Ribeirão Preto e norte da RA Bauru, permanecendo com variação entre 0 a 10% na produção e ao noroeste da RA S.J dos Campos permanecendo com mais de 30% (Figura 8).

As regiões de maior amplitude estão localizadas na RA S.J dos Campos compreendendo uma faixa vertical entre a divisa do estado com o Estado de Minas Gerais até o litoral paulista e a porção sul da RA Registro (Figura 8).

As estimativas do cenário de alta emissão para o ano de 2055 diferiram das demais estimativas feitas para as classes de solo do tipo I, II e III (Figura 5, Figura 6, Figura 7 e Figura 8).

A amplitude de variação entre as localidades com 10 a 20% de variação foi bem mais heterogênea, com uma distribuição dos maiores valores mais ao sul e sudeste do território paulista, com uma variação de mais de 20 pontos percentuais em relação ao cenário de 2025 (Figura 8).

No centro do estado a variação foi de 10 pontos percentuais entre 2025 e 2055 englobando as RA Campinas, Sorocaba, Marília, Presidente Prudente, Araçatuba, nordeste da RA Franca e Bauru (Figura 8).

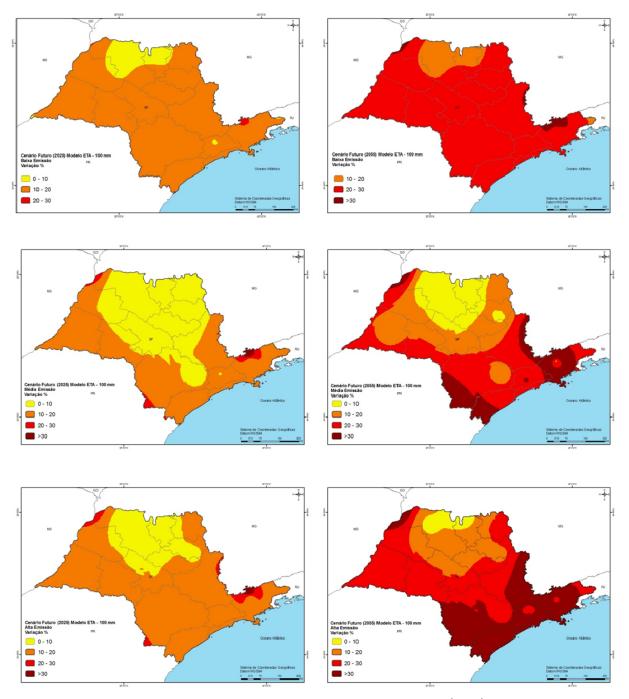


Figura 8 - Mapeamento da variação (%) da produção total anual (kg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> de MS) do *Panicum maximum* cv. Tanzânia no Estado de São Paulo para a classe de solo Tipo IV (capacidade de armazenamento de água 100 mm), estimadas pelo modelo ETA em três cenários de mudanças climáticas (baixa, média e alta emissão), projetados para os anos 2025 e 2055

Nas Figuras 9, 10, 11 e 12 estão representados os mapas das variações da produção do capim-tanzânia para os cenários de baixa e alta emissão projetados pelo modelo climático PRECIS, para os anos de 2025 e 2055 e as classes de solo do tipo I, II, III e IV.

No cenário de baixa emissão de gases, no ano de 2025, grande parte do território paulista apresenta uma variação de 10 a 20% da produção em relação ao cenário atual. Com as projeções obtidas pelo modelo para o ano de 2055 as áreas tiveram um aumento proporcional de 10 pontos percentuais na produção em cada classe de variação, ou seja, a maior área do estado em 2055 apresenta uma variação de 20 a 30% da produção em relação ao cenário atual.

Em 2055 a menor variação predita foi a de 10 a 20%, se restringindo a pequenas áreas no mapa. Áreas em 2025 com variações entre 20 a 30% passaram a apresentar em 2055, variação acima dos 30%, o mesmo ocorrendo para todas as classes de solo.

Seguindo a tendência de aumento na produção do capim por todo o território paulista, no cenário de alta emissão há um aumento expressivo na variação da produção, no qual as áreas de 10 a 20% e de 20 a 30% projetadas para o ano de 2025, em 2055 correspondem a áreas com variação na produção acima dos 30%, demonstrando um aumento de 20 pontos percentuais ou mais da produção do capim, partindo dos valores preditos pelo modelo para o cenário atual.

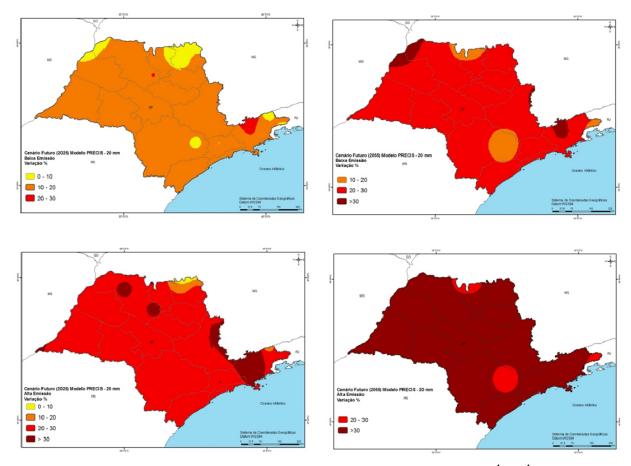


Figura 9 - Mapeamento da variação (%) da produção total anual (kg MS ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) do *Panicum maximum* cv. Tanzânia no Estado de São Paulo para a classe de solo Tipo I (capacidade de armazenamento de água 20 mm), estimadas pelo modelo PRECIS em dois cenários de mudança climáticas (baixa e alta emissão), projetados para os anos 2025 e 2055

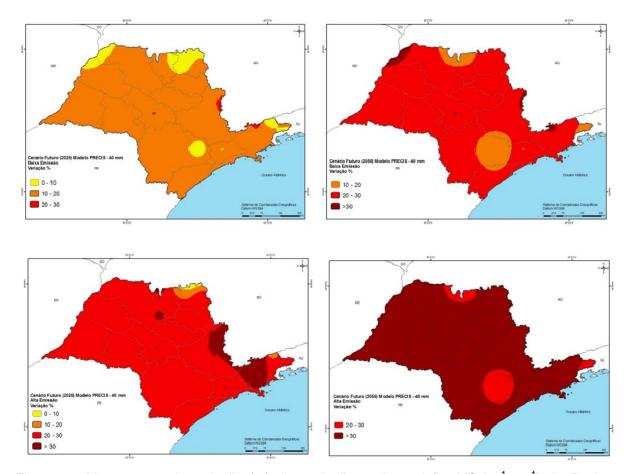


Figura 10 -Mapeamento da variação (%) da produção total anual (kg MS ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) do *Panicum maximum* cv. Tanzânia no Estado de São Paulo para a classe de solo Tipo II (capacidade de armazenamento de água 40 mm), estimadas pelo modelo PRECIS em dois cenários de mudança climáticas (baixa e alta emissão), projetados para os anos 2025 e 2055

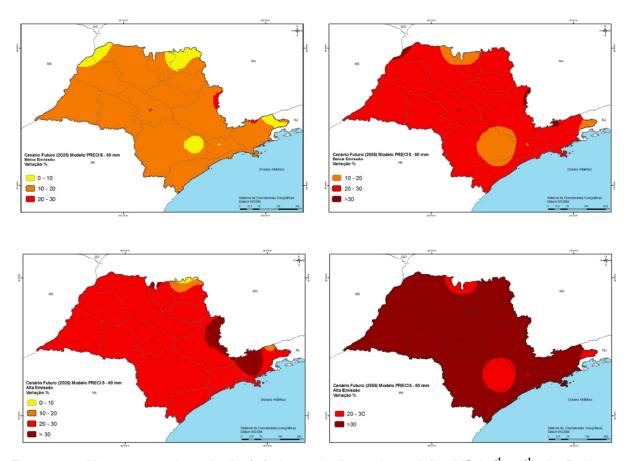


Figura 11 - Mapeamento da variação (%) da produção total anual (kg MS ha-1ano-1) do *Panicum maximum* cv. Tanzânia no Estado de São Paulo para a classe de solo Tipo III (capacidade de armazenamento de água 60 mm), estimadas pelo modelo PRECIS em dois cenários de mudança climáticas (baixa e alta emissão), projetados para os anos 2025 e 2055

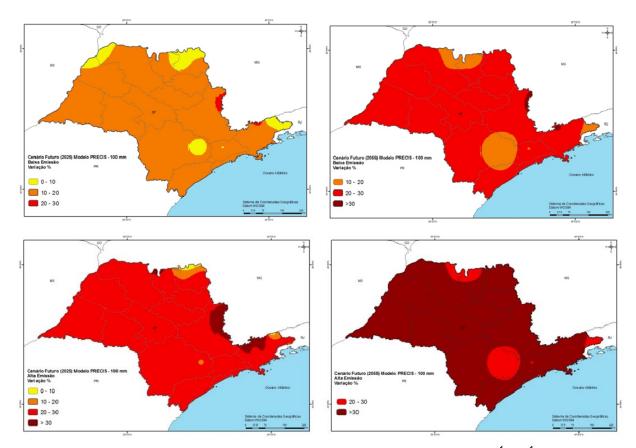


Figura 12 -Mapeamento da variação (%) da produção total anual (kg MS ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) do *Panicum maximum* cv. Tanzânia no Estado de São Paulo para a classe de solo Tipo IV (capacidade de armazenamento de água 100 mm), estimadas pelo modelo PRECIS em dois cenários de mudanças climáticas (baixa e alta emissão), projetados para os anos 2025 e 2055

## 5 DISCUSSÃO

A modelagem pode ser aperfeiçoada para a sua utilização em todas as áreas do conhecimento. No caso do trabalho proposto, o agrupamento de conceitos nas áreas exatas e biológicas permitiu a utilização e adaptação de modelos capazes de modular a dinâmica do crescimento das plantas em função de fatores preditores, sendo assim, foi utilizado um modelo de produção que possibilitou a simulação da taxa de acúmulo de matéria seca do capim-tanzânia nas condições edafoclimáticas atuais e futuras baseadas em dois modelos climáticos, o modelo ETA-CPTEC e o modelo PRECIS.

De modo geral os resultados indicam uma tendência de aumento de produção variando de 10 a 20 pontos percentuais na área em estudo. Em 2025 haverá um aumento de 20 a 30% da produção em relação ao cenário atual e as previsões para 2055 são de aumentos acima de 30%, assim como nas diferentes classes de solo foi observado o aumento progressivo na produtividade de matéria seca da forrageira.

A porcentagem de variação tende a ser maior nos locais onde hoje a produção é menor, esta tendência de aumento é apontada para ambos os modelos, o que torna a projeção mais confiável, porém para que o aumento esperado ocorra outros fatores que influenciam o desenvolvimento das plantas deverão ser considerados, como a evapotranspiração e disponibilidade hídrica e principalmente a fertilidade dos solos (ZIMMER e EUCLIDES, 1997; SOUZA, 2005; FONSECA, 2010)

Com base nos padrões de taxa de acúmulo de matéria seca esperados e os simulados e das qualidades físicas dos solos, podemos considerar os solos do tipo II e III como solos característicos do território paulista, sendo arenosos e de textura média com capacidades de armazenamento de água entre 40 mm e 60 mm respectivamente. As características corroboram com descritas por Rossi e Oliveira (2000), onde predominam duas categorias de solos no Estado de São Paulo, os LATOSSOLOS e os ARGISSOLOS.

Com os estudos de clima realizados utilizando os modelos climáticos ETA-CPTEC e PRECIS, verificaram-se como as mudanças climáticas influenciariam as variáveis de temperatura máxima, mínima e precipitação no território brasileiro, considerando as projeções para os anos de 2025 e 2055. As previsões foram feitas mensalmente, obtendo-se a determinação média das variáveis por ano. O que se observa é um aumento nas médias de temperatura, tanto máxima quanto na mínima, e um aumento na precipitação média ao longo do ano. Marengo (2007), utilizando modelos similares na simulação das temperaturas máximas e mínimas e precipitação observou que, no geral, há tendências de aumento das temperaturas, principalmente da temperatura mínima nos meses mais frios da estação do inverno, chegando a variações de 2 a 3°C.

Extraindo os resultados em uma menor escala com foco no Estado de São Paulo, as faixas de temperatura obtidas para o cenário atual foram para Tmáx entre 32 a 40°C, Tmín entre -1 a 9°C e precipitação média entre 1200 a 1600 mm. No modelo ETA-CPTEC há variação positiva de 1 a 4°C nas temperaturas e de até 400 mm na precipitação para os cenários climáticos futuros e no modelo PRECIS há variação de 1 a 2°C nas temperaturas e 200 mm .

Conjuntamente com as condições climáticas as qualidades físicas do solo podem limitar as condições hídricas disponíveis para as plantas e determinar o rendimento máximo da cultura em uma dada região. Para os parâmetros de clima avaliados pelos modelos climáticos, a temperatura e a precipitação são determinantes dos processos de evapotranspiração do meio ambiente, que consiste no processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e por transpiração das plantas, por meio da evaporação da umidade existente no substrato (solo ou água) e a transpiração resultante da superfície vegetada (TAIZ e ZEIGER, 2009).

Para que ocorra evapotranspiração é necessário energia para a evaporação da água, por isso depende principalmente da disponibilidade de energia solar recebida, que é influenciado pelo local (latitude, altitude e topografia da região) e pela época do ano (PEREIRA et al.; 2002).

Segundo Doorenbos e Kassam, (1979), é possível quantificar empiricamente num modelo o efeito da água sobre o rendimento da planta. Os autores relatam um fator de correlação entre a produtividade relativa (Yr/Ym) e a evapotranspiração relativa (ETr/ETm), sendo Yr a produtividade real, Ym a produtividade máxima sem déficit hídrico, ETr a evapotranspiração real da cultura e ETm a evapotranspiração máxima da cultura. O resultado dessa relação, os autores chamaram de "coeficiente de redução de produtividade".

Outra forma de penalizar a produção potencial pode ser por meio de índices, relacionando a ETr/ETm, e considera-se como deficiência hídrica os períodos em que a ETr for menor que a ETm (DOURADO Neto et al.; 2004). Em períodos de

maior evapotranspiração, o conteúdo de água no solo determinará a velocidade com que a deficiência hídrica se instalará e a sua severidade, podendo em muitos casos ocasionar murcha permanente e morte da cultura (TAIZ e ZEIGER, 2009).

Nos modelos de produção utilizados para gerar os cenários futuros para capim-tanzânia no presente trabalho, um fator de penalização dado pelo armazenamento relativo de água no solo foi utilizado como fator de correção da produção potencial, conforme determinado por Pezzopane et al (2012).

As previsões de acordo com os modelos ETA e PRECIS são de aumentos na temperatura máxima e na mínima, e este fator poderá acelerar e intensificar os processos de evapotranspiração. Apesar da tendência de aumento da evapotranspiração, os cenários futuros não mostram impactos negativos sobre a taxa de acúmulo do capim-tanzânia na região entre os anos avaliados pelos modelos, em virtude da compensação entre aumento de temperatura e aumento da precipitação média anual.

Para a determinação de modelos mais condizentes à realidade, além do balanço hídrico e da temperatura, a introdução da variável graus-dia determina com maior precisão a produtividade das forrageiras nas épocas do ano, devido ao capimtanzânia ser uma forrageira estacional (HERLING et al.; 2001).

O método de uso de graus-dia serve para relacionar a temperatura com o desenvolvimento da planta, sendo uma medida mais coerente com os estádios de desenvolvimento do vegetal. Segundo Bergamaschi (2006), a observação dos dias decorridos para o aparecimento de cada fase do ciclo de desenvolvimento do vegetal é variável e dependente da temperatura do ar, sendo um erro o planejamento da produção por dias.

As relações entre a temperatura acumulada em graus-dia para o desenvolvimento do vegetal fundamentam-se na média diária de temperatura com a base de temperatura de cada planta, quando este índice é inferior, o metabolismo paralisa ou estabiliza (FEROLLA et al, 2007). No mecanismo de formação dos fitômeros que resultam em perfilhos, os meristemas captam as sensações térmicas e quando chega numa soma térmica geneticamente controlada (filocrono) ocorre à emissão de uma nova folha (NABINGER, 2005).

A disponibilidade térmica tem influência direta sobre o desenvolvimento fenológico, na morfogênese e nas características estruturais da pastagem (CHAPMAN e LEMAIRE, 1993) de tal forma que locais ou períodos mais quentes

determinam desenvolvimento mais rápido destas. Logo, em regiões ou mesmo épocas mais quentes, há maior precocidade no desenvolvimento das plantas (BERGAMASCHI, 2006). O que justiça a utilização das variáveis graus-dia caracterizando o desenvolvimento da planta por época e das características hídricas relacionadas ao tipo de solo regionalizando a aplicação do modelo de produção.

Essas constatações denotam a importância de pesquisas com o objetivo de estudar a influência das condições hídricas do solo associadas aos fatores climáticos como temperatura, fotoperíodo e radiação solar nos modelos de predição da produtividade. A utilização de modelos que não consideram o fator hídrico dificulta sua utilização para áreas de pastagens não irrigadas, o que representa a maior parte das condições brasileiras na atualidade, além de promover limitações de seu uso em estudos de cenários climáticos futuros.

Segundo Marengo (2007), os modelos climáticos globais não têm apresentado uma simulação satisfatória de eventos de chuva no presente, e as afirmações baseiam-se mais nas observações feitas nos últimos 50 anos e não necessariamente nas projeções dos modelos. As maiores incertezas estão associadas à previsão da precipitação para o estado devido à reduzida quantidade de estações meteorológicas e à sua distribuição pelo território paulista, que dificultam um estudo mais detalhado de região a região dentro do estado, e pela variabilidade anual na distribuição de chuvas.

Os modelos ETA e PRECIS consideram as variáveis temperatura e variação na precipitação na simulação dos cenários climáticos. Estas variáveis além de terem influência individual no desenvolvimento das plantas são parte integrante de outro parâmetro limitante observado, que é a influência da altitude.

O fator altitude é composto por um conjunto de variáveis que modulam as respostas das plantas a este. As variáveis de maior relevância que a compõe são a temperatura, principalmente a temperatura no período noturno, e a diferença entre a temperatura diurna e noturna, a pressão atmosférica, a velocidade dos ventos, as relações hídricas entre evapotranspiração e precipitação e incidência de radiação solar.

Elevadas altitudes são limitantes ao desenvolvimento das plantas, sendo que acima de 1000 metros há considerável redução da produção, pois, além da altitude, a temperatura nas localidades também limita o desenvolvimento. Áreas de altitude elevada e as localidades mais ao sul do país com temperaturas mínimas inferiores a

15°C são limitantes a produção do capim-tanzânia (HERLING et al.; 2001; MENDONÇA e RACINI, 2006).

Nas regiões de maior altitude no estado como a RA S. J. dos Campos, onde as produções foram as menores encontradas, e com as mudanças preditas pelos modelos de aumento de temperatura, a forrageira será beneficiada e são nestas regiões onde ocorrerá o maior aumento de produtividade do capim em relação ao cenário atual de produção. As áreas de menor produção no território paulista tiveram aumento acima de 30% na produção, diminuindo o efeito limitante da altitude, se tornando regiões propícias ao desenvolvimento do capim-tanzânia.

Os modelos de produção consideram apenas a temperatura e disponibilidade hídrica, mas já servem como parâmetros para explicar o efeito da altitude sobre a produção do capim nas regiões de maiores valores. Nestas regiões são previstos aumentos na média da temperatura mínima e um aumento na precipitação de aproximadamente 25% e desta forma reduzindo a possível ocorrência de déficit hídrico na região.

Devido aos modelos serem uma representação da realidade possuem suas limitações, ao se considerar uma fração das variáveis que explicam a interferência das mudanças climáticas sobre a produção do capim-tanzânia, a inferência que se pode fazer a respeito dos resultados é de que ambos os modelos demonstram uma tendência no aumento dos valores de produção de massa seca nos cenários futuros em relação ao cenário atual para a área em estudo, mas não dispensa estudos futuros mais detalhados de como e quando, considerando a estacionalidade das plantas forrageiras, estas mudanças terão maior impacto ao longo do ano e nos cenários futuros.

Não somente as médias anuais são importantes na análise dos possíveis impactos das mudanças climáticas sobre a produção do capim, estudos mais detalhados da sazonalidade da produção e do clima ao longo dos meses do ano se faz necessário para o conhecimento aprofundado de como a planta responderá frente a estes mudanças.

Além da importância dada ao crescimento e desenvolvimento da planta forrageira no estado e as regiões de maior potencial produtivo, o enfoque na produção animal se faz necessário para o planejamento e escalonamento da utilização de forrageiras como fonte de alimentação dos animais no sistema.

A pecuária no Estado de São Paulo está distribuída nas regiões administrativas de maior relevância e são as RAs de São José do Rio Preto, Araçatuba, Presidente Prudente, Marília, Franca, Central, Bauru, Sorocaba, Campinas, São Paulo e São José dos Campos, (OLIVETTE et al.; 2011). Os mapas de variação de produção em kg MS ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>baseados nos cenários gerados pelos modelos climáticos indicam o aumento da produção do capim-tanzânia nas regiões de cultivo atuais como as regiões administrativas descritas por Olivette et al. (2011).

Além das regiões de tradição na exploração da pecuária, para as regiões ao noroeste da região administrativa de São José dos Campos e ao sul das regiões de Sorocaba e Registro o aumento das temperaturas nestas regiões, as tornarão propícias ao estabelecimento do capim e assim favorecendo positivamente para o crescimento da pecuária nestas áreas.

Os desafios para o crescimento da pecuária nestas regiões vão além das condições climáticas, algumas particularidades como a da Região de Registro, que possui uma topografia acidentada não favorável ao uso agrícola intenso e presença de mata densa como a região do vale do Ribeira que abriga cerca de 23% da mata Atlântica remanescente no Brasil, dificultam o avanço do sistema de produção de ruminantes (MMA, 2012).

Na região de São José dos Campos no Vale do Paraíba cerca de 90% das propriedades são de pequenos produtores e se localizam mais no litoral da região em menores altitudes (CASTANHO FILHO et al., 2013), pois segundo a lei nº 12.651/2012 do novo código florestal, encostas com declividade entre 25º e 45º e topo de morro são classificadas como área de uso restrito, permitindo o manejo florestal sustentável e o exercício de atividades agrossilvopastoris com a manutenção da infraestrutura utilizada.

Outra característica observada é a condição das pastagens e do solo em relação ao grau de degradação. A área ocupada por pastagens e utilizada para a exploração do rebanho leiteiro e misto no estado se encontra segundo Drugowich et al. (2009) segmentada em três níveis de degradação, em 20% da área com pastagens em estágio avançado de degradação com perda de cobertura vegetal e erosão dos solos, em 60% da área com pastagens já apresentando algum nível de degradação, como erosão laminar em profusão em função de manejo inadequado e os restantes 20% de áreas sob manejo correto, com perdas mínimas por erosão.

Nas regiões de São José do Rio Preto, Barretos e Franca, as condições das pastagens explicam a baixa resposta da forrageira frente às melhorias ambientais, pois além dos fatores de clima, o uso do solo e o manejo implicam na determinação da produtividade da região.

Há sugestão de que ocorrerá um entrave entre os efeitos positivos que as mudanças climáticas provocarão nas pastagens de capim-tanzânia e no sistema de produção de ruminantes a pasto e os limites de temperatura considerados dentro da zona de conforto térmico para os animais expostos as mudanças, visto que as regiões onde estão previstos os maiores aumentos de temperatura são as regiões no qual já possuem as maiores temperaturas no estado, podendo dependendo da máxima temperatura alcançada ser um fator de estresse térmico e reduzir a produtividade dos animais.

Quando as condições são ótimas para o desenvolvimento do capim, a taxa de acúmulo de matéria seca é favorecida. Com um maior acúmulo de material disponível para o consumo dos animais ruminantes, mais rapidamente estes animais atingirão o peso final de abate, ou seja, quanto maior a disponibilidade de forragem, maiores as chances do animal em expressar seu máximo potencial de ganho de peso e somente será alcançado se as condições climáticas forem igualmente favoráveis.

Existem diferenças entre raças bovinas, sendo as raças zebuínas (*Bos indicus*) mais termotolerantes do que as raças europeias (*Bos taurus*) tanto na exploração da bovinocultura de corte quanto leiteira. Os zebuínos possuem maior capacidade de regular a temperatura do corpo em condições de estresse térmico (HANSEN, 2004) sendo menos sujeitos às mudanças climáticas previstas para os cenários futuros, porém acima de 32°C já se observa uma redução no ganho de peso e produtividade (SILANIKOVE, 2000), sendo que segundo o NRC (1996) a faixa de termoneutralidade (zona de conforto) de grande parte das raças bovinas se encontra entre 15 a 25°C.

Na exploração pecuária o maior impacto será sobre a pecuária leiteira, no qual as raças mais adaptadas e utilizadas no estado são advindas de cruzamentos com raças europeias e são tolerantes até temperaturas de 26°C, sendo que ao ultrapassar estes limites à produção de leite tem considerável redução. Como o exposto por Silanikove (2000), temperaturas médias de 21,1°C ocasionaram uma depleção na produção de leite de 12%, ao se aumentar a temperatura média a

26,7°C a queda na produção foi de 14%, indicando a necessidade de estudos que considerem o impacto das mudanças climáticas sobre a produção animal e o tipo de exploração e categorias que seriam mais vulneráveis aos efeitos do clima.

Em geral o Estado de São Paulo se apresenta favorável ao plantio de Panicum maximum cv. Tanzânia, pelas melhorias nas condições ambientais para o cultivo da forrageira, aumentando a potencialidade para o desenvolvimento agropecuário no estado como um todo e a divulgação dos mapas de zoneamento e análise de vulnerabilidade climática das principais culturas irão auxiliar no desenvolvimento de políticas públicas de conservação e alternativas de mitigação dos impactos negativos das mudanças climáticas globais sobre a produção vegetal e animal.

# 6 CONCLUSÕES

Nos cenários futuros de produção para os anos de 2025 a 2055, as mudanças climáticas de aumento de temperatura e disponibilidade hídrica irão favorecer o estabelecimento do capim-tanzânia em áreas antes limitantes ao seu desenvolvimento e ocorrerá um aumento de produção nas áreas atuais de exploração.

A pecuária no Estado de São Paulo poderá ser beneficiada com as mudanças climáticas pela influência positiva no crescimento de pastagens de capim-tanzânia.

## **REFERÊNCIAS**

ALMEIDA, A.C.S.; MINGOTI, R.; COELHO, R.D.; LOURENÇO, L.F.T. Simulação do crescimento do capim Tanzânia irrigado com base na unidade fototérmica, na adubação nitrogenada e na disponibilidade hídrica do período. **Acta Scientiarium Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 215-222, 2011.

ARAUJO, L.C.; SANTOS, P.M.; PEZZOPANE, J.R.; CRUZ, P.G. Prediction of Tanzânia grass dry matter production using agrometereological parameters. In: AMERICAN DAIRY SCIENCE ASSOCIATION; POULTRY SCIENCE ASSOCIATION; ASSOCIACÍON MEXICANA DE PRODUCCIÓN ANIMAL; CANADIAN SOCIETY OF ANIMAL SCIENCE; AMERICAN SOCIETY OF ANIMAL SCIENCE, 88., 2010, Denver. **Proceedings...**Denver: JAM, 2010. p.627-628.

ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; ZULLO JÚNIOR, J.; MARIN, F.R. Mudanças climáticas e agricultura: uma abordagem agroclimatológica. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria,v. 34, p. 169-182, 2007.

BARIONI, L.G.; MARTHA Jr.; G.B.; RAMOS, A.K. et al. Planejamento e gestão do uso de recursos forrageiros na produção de bovinos em pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM, 2003. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2003. p. 106-153.

BERNARDES, M.S.; TERAMOTO, E.R. Análise de sistema de produção e modelagem. In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R.A.; DECHEN, A.R. Introdução a ecofisiologia vegetal. Piracicaba: FEALQ, 2007. p. 212-228.

BERGAMASCHI, H. **Fenologia**. In: Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia – Disciplinas de Graduação – Relações Clima- Planta. Porto Alegre: UFRGS. Disponível em:

<a href="http://www.ufrgs.br/agropfagrom/disciplinas/502/fenolog.doc">http://www.ufrgs.br/agropfagrom/disciplinas/502/fenolog.doc</a>>. Acesso em: 6 jul.2013.

BERKOWITZ, G.A. Water and salt stress. In: RAGHAVENDRA, A.S. (Ed.). **Photosynthesis:** comprehensive treatise. Cambridge: Cambridge University, 1998. p.226-237

BENNETT, J.M.; SULLIVAN, C.Y. Effect of water stress preconditioning on net photosynthetic rate of grain sorghum. **Photosynthetica**, Prague, v.15, n.3, p.330-337, 1981.

BERRY, J.A.; RAISON, J.K. Responses of macrophytes to temperature. In: LANGE, O.L.; NOBEL, P.S.;OSMOND, C.B.; ZIEGLER, H.(Ed.). **Encyclopedia of Plant Physiology**, Berlin, v.12, p.277-338, 1981.

BOOTE, K.J.; MINGUEZ, M.I.; SAU, F. Adapting the CROPGRO legume model to simulate growth of faba bean. **Agronomy Journal**, Madison, v.94, p.743-756, 2002.

- BOSI, C.; PEZZOPANE, J. R. M.; SANTOS, P. M.; ANDRADE, A. S.; CANESIN, M.R. Características climáticas de localidades com experimentação em *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum* no Brasil. In: JORNADA CIENTÍFICA EMBRAPA SÃO CARLOS, 5., 2013, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste: Embrapa Instrumentação, 2013. p. 39 (Embrapa Pecuária Sudeste.Documentos, 110).
- BUNCE, J.A. Acclimation of photosynthesis to temperature in eight cool and warm climate herbaceous C3 species: temperature dependence of parameters of a biochemical photosynthesis model. **Photosynthesis Research**, Hague, v.63, p.59-67, 2000.
- BUXTON, D.R.; FALES, S.L.Plant environment and quality. In: FAHEY JUNIOR, G.C. (Ed.). **Forage quality, evaluation and utilization**. Lincoln: University of Nebraska, 1994. p.155-199.
- CASTANHO FILHO, E.P.; CAMPOS, A.D.C.; ANGELO, J.A.; OLIVETTE, M.P.A.; SACHS, R.C.C. A Evolução da Agropecuária Paulista e a Implantação da Legislação Ambiental: impactos socioeconômicos e ambientais. **Revista Técnica do Instituto de Economia Agrícola (IEA)**, São Paulo, v. 43, n. 4, p. 1-110,2013
- CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A.; DECHEN, A.R. Introdução a ecofisiologia vegetal. Piracicaba: FEALQ, 2007. 228p.
- CHAPMAN, D.F.; LEMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of growth after defoliation. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 17, 1993. **Proceedings...** New Zealand: p.95-104. 1993.
- COOK, B.G.; PENGELLY, B.C.; BROWN, S.D.; DONNELLY, J.L.; EAGLES, D.A.; FRANCO, M.A.; HANSON, J.; MULLEN, B.F.; PARTRIDGE, I.J.; PETERS, M. AND SCHULTZE-KRAFT, R.**Tropical Forages:** an interactive selection tool.Brisbane, Australia:CSIRO, DPI&F(Qld), CIAT and ILRI, 2004. 1 CD-ROM,
- COOPER, J.P.; WILSON, D. Variation in photossinthetic rate in *Lolium*. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 11.1970, Surfers Paradise. **Proceedings...** Santa Lucia: University of Queensland Press, 1970. p.522-527.
- COOPER, J.P.; TAINTON, N.M. Light and temperature requirements for the growth of tropical and temperate grasses. In: **Herbage abstracts**. 1968. p. 167-176.
- CORREA, L.A.; FREITAS, A.R.; BATISTA, L.A. Níveis de nitrogênio e freqüências de corte em 12 gramíneas forrageiras tropicais. 1. Produção de matéria seca. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35.,1998. **Anais...** Botucatu: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1998. v.2, p.304-306.
- CORSI, M.; SANTOS, P.M. Potencial de produção do *Panicum maximum*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12.; 1995. Piracicaba. **Anais**... Piracicaba: FEALQ, 1995. p.249-266.

CORSON, M.S.; ROTZ, C.A.; SKINNER, R.H. Evaluating warm season grass production in temperate region pastures: a simulation approach. **Agricultural Systems**, Pennsylvania, v.93, p.252-268, 2007.

CUNHA, F.F.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C.; SEDIYAMA, G.C.; PEREIRA, O.G.; ABREU, F.V.S. Produtividade do capim Tanzânia em diferentes níveis e frequências de irrigação. **Acta Scientiarium Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 103-108, 2008.

Da SILVA, S.C.; PEDREIRA, C.G.S. Princípios de ecologia aplicados ao manejo de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGENS, 3.,1997. Jaboticabal, **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1997. p. 1-62.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212p. (FAO. Riego y Drenaje, 33).

DOURADO NETO, D.; SPAROVEK, G.; FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M.; FANCELLI, A.L.; MANFRON, P.A.; MEDEIROS, S.L.P. Modelo para estimação da produtividade de grãos de milho deplecionada com base no balanço hídrico no solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 359-367, 2004.

DRUGOWICH, M.I.; SAVASTANO, S.; SAVASTANO, S.A.A.L. **Erosão em pastagens sob pecuária leiteira e mista no Estado de São Paulo**. Disponível em:<a href="http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa/estudos\_lupa/ErosaoPastagensSP.pdf">http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa/estudos\_lupa/ErosaoPastagensSP.pdf</a>>. Acesso em: 10 jul.2013.

EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M.; OLIVEIRA, M.P.. Desempenho animal em pastagens de gramíneas recuperadas com diferentes níveis de fertilização. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., 1997, Juiz de Fora. **Anais**... Juiz de Fora: SBZ, 1997b .v.2. p.201-203.

EZEQUIEL, J.M.B.; FAVORETTO, V. Efeito do manejo sobre a produção e composição química de perfilhos do capim-colonião (*Panicum maximum*Jacq.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v.29, n.6, p. 1596-1607, 2000.

FERNÁNDEZ, M.E.; GYENGE, J.E.; SCHLICHTER, T.M. Shade acclimation in the forage grass Festuca pallescens: biomass allocation and forage orientation. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v.60, p. 159-166, 2004.

FEROLLA, F.S.; VASQUEZ, H.M.; SILVA, J.F.C. da. Producão de materia seca, composição da massa de forragem e relação lamina foliar/caule + bainha de aveia preta e triticale nos sistemas de corte e pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v.36, n.5, p. 1512-1517, 2007 (supl.).

FONSECA, D.M.; MARTUSCELLO, J.A. **Plantas forrageiras**. Viçosa: Editora UFV, 2010. v.1. 537p.

- GERDES, L.A.; WERNER, J.C.; FERREIRA, T.A.; ALCÂNTARA, P.B.; BEISMAN, D.A. Produção de matéria seca e algumas características morfológicas de três capins em três idades de corte. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35., 1998, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1998. v.2, p.263-265.
- GONÇALVES, F.L.T.; SILVA DIAS, P.L.; ARAÚJO G P. Climatological analysis of winter time extreme low temperatures in São Paulo City, Brazil: Impacts of seas surface temperature sanomalies. **International Journal of Climatology,** Chichester, v.22, p.1511-1526, 2002.
- HARTSEMA, A.M.I.; LUYTEN, A.H. BLAAUW. De optima temperaturen van bloemaanleg tot bloei II. Verhandelingen der Koninklijke Akademie van Wetenschappen, Amsterdam, v. 2, n. 27, p. 1-46, 1930.
- HANSEN, P.J. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress Animal Reproduction Science, Amsterdam, v. 82/83, p. 349 360, 2004.
- HERLING, V.R.; BRAGA, G.J.; LUZ, P.H.C.; OTANI, L. Tobiatã, Tanzânia e Mombaça. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 17., 2001. Piracicaba. **Anais...**Piracicaba: FEALQ, 2001, p. 89-132.
- HOJITO, S.; HORIBATA, T. Plant exploration, collection and introduction from Africa.In: **Tropical Agriculture Research Center,** Nekken Shiryo, v.58, p. 1-120, 1982.
- IBGE. 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2010**. Disponível em <a href="http://www.ibge.gov.br">http://www.ibge.gov.br</a> Acesso em: 20 out.2012.
- IBGE. 2011. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2011**. Disponível em <a href="http://www.ibge.gov.br">http://www.ibge.gov.br</a> Acesso em: 20 out.2012.
- INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA –IEA. Índices econômicos da produção agropecuária do Brasil. Disponível em <a href="http://www.iea.br">http://www.iea.br</a> > Acesso em: 2 dez.2013.
- IPCC. 2007. Intergovernmental Panel on Climatic Change.**4th Assessment Report**. Disponível em:<a href="http://www.ipcc.ch/">http://www.ipcc.ch/</a> Acesso em: 20 out.2012.
- JANK, L. Melhoramento e seleção de variedades de *Panicum maximum*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12.,1995.Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 21-58.
- JOHNSON, I.R.; THORNLEY, J.H.M. Temperature dependence of plant and crop processes. **Annals of Botany**, London, v.55, p.1-24, 1985.
- JONES, R.J. Zoneamento de plantas forrageiras para São Paulo. **Revista dos Criadores**, São Paulo, v.46, n.556, p.24-30, 1976.

- JONES, R.; HASSEL, D.; HUDSON, D.; WILSON, S.; JENKINS, G.; MITCHELL, J. Workbook on generating high resolution climate change scenarios using **PRECIS**. Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Met Office, Bracknell, UK. 2003. 34p.
- LAMBERS, H.; CHAPIM III, F.S.; PONS, T.L. **Plant physiological ecology**. New York: Springer, 1998. p.159-166.
- LARCHER, W. **Physiological plant ecology**. 3th ed. Berlin: Springer-Verlag, 2000, 506p.
- LEMAIRE, G.; AGNUSDEI, M. Leaf tissue turnover and efficiency of herbage utilization. In: LEMAIRE, G.; HODGSON, J.; MORAES, CARVALHO, P.C.F.; NABINGER, C. (Ed.). **Grassland ecophysiology and grazing ecology**. London: CAB International, 2000. p.265-288.
- LUCCHESI, A.A. Fatores da produção vegetal. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. (Ed.) **Ecofisiologia da produção agrícola.** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987p.1-11.
- LUPA Levantamento censitário de unidades de produção agrícola do Estado de São Paulo 2007/2008. São Paulo: SAA/CATI/IEA, 2008. Disponível em: http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa>. Acesso em: 20Out.2012.
- LUDLOW, M.M.; WILSON, G.L. Studies on the productivity of tropical pasture plants. II. Growth analysis, photosynthesis, and respiration of 20 species of grasses and legumes in a controlled environment. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 21, n. 2, p. 183-194, 1970.
- MARENGO, J.A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA, 2007. 212p. (Biodiversidade, 26).
- MARENGO, J.; CAMARGO, C.G.C.; Trends in Extreme air temperatures in Southern Brazil. International Journal of Climatology, DOI:10.1002/joc.1863, 2007.
- MARIN, F.R.; JONES, J.W.; SINGELS, A.; ROYCE, F.; ASSAD, E.D.; PELLEGRINO, G.Q.; JUSTINO, F. Climate change impacts on sugarcane attainable yield in southern Brazil. **Climatic Change**, DOI 10.1007/s10584-012-0561-y, 2012.
- MAWSON, B.T.; SVOBODA, J.; CUMMINS, R.W. Thermal-acclimation of photosynthesis by the arctic plant Saxifraga cernua. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.64, p 71-76, 1986.
- MEDEIROS, H.R.; PEDREIRA, C.G.S.; VILLA NOVA, N.A. Avaliação de um modelo matemático para estimar o acúmulo de forragem em função de variáveis climáticas. **PasturasTropicales**. Cali, v.27, n.2, p.12-17, 2005.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE- MMA. Disponível em <a href="http://www.mma.gov.br/">http://www.mma.gov.br/>Acesso em: 20 out./2012.</a>

MENDONÇA, F.; RASSINI, J. **Temperatura-base inferior e estacionalidade de produção de gramíneas forrageiras tropicais.** São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006. 9p. (Circular técnica 45)

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. Disponível em <a href="http://www.mapa.gov.br">http://www.mapa.gov.br</a> Acesso em: 2 dez.2013.

MUIR, J.P.; JANK, L. Guineagrass.In: MOSER, L.E.; BURSON, B.L.; SOLLENBERGER, L.E. (Ed.). **Warm-season (C4) grasses**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 2004. p.589-622.

MÜLLER, M.S. Desempenho de *Panicum maximum* (cv. Mombaça) em Pastejo Rotacionado, sob Sistema de Irrigação por Pivô Central, na Região de Cerrado. 2000. 101p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

NABINGER, C. Bases ecofisiologicas do crescimento das pastagens e as praticas de manejo. Porto Alegre: DPFA/UFRGS, 2005. v.1:Fundamentos da Produção e utilização de pastagens. 98p.

NASCIMENTO, J.; LEME, P.R.; FREITAS, M.A.R.; MONTAGNINI, M.I.; FREITAS, E. A.N. de; SILVA, L.R.M. da. Zoneamento ecológico da pecuária bovina do estado de São Paulo. **Boletim da Indústria Animal**, São Paulo, v.32, n.2, p.185-238, 1975.

PARSONS, J.J. Spread of African pasture grasses of the american tropics. **Journal of Range Management**, Tucson, v. 25, n.1, p. 12-17, 1972.

OLIVETTE, M.P.A.; FILHO, E.P.C.; SACHS, R.C.C.; NACHILUK, K.;MARTINS, R.; CAMARGO, F.P.; ANGELO, J.A.; OLIVEIRA, L.H.D.C.L. Evolução e prospecção da agricultura paulista: liberação da área de pastagem para o cultivo da cana-deaçúcar, eucalipto, seringueira e reflexos na pecuária, 1996-2030. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 41, n. 3, p. 1-31, 2011.

PEDREIRA, J.V.S.; MATTOS, H.B. Crescimento estacional de vinte e cinco espécies ou variedades de capins. **Boletim da Indústria Animal**, São Paulo, v.38, n.2, p.117-143, 1981.

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 Crops Research**, Amsterdam, v.120, p.370-379, 2011.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia:** fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Editora Agropecuária, 2002. 478p.

- PINHEIRO, V.D. Viabilidade econômica da irrigação de pastagem de capimtanzânia em diferentes regiões do Brasil.2002. 103p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- PEZZOPANE, J.R.C.; SANTOS, P.M.; MENDONÇA, F.C.; de ARAUJO, L.C.; CRUZ, P.G. Dry matter production of Tanzania grass as a function of agrometeorological variables. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.4, p.471-477, 2012.
- RYMPH, S.J. **Modeling growth and composition of perennial tropical forage grasses**. 2004. 316p.Thesis (Doctor of Philosophy) University of Florida.Gainesville ,2004.
- RODRIGUES, T.J.D.; RODRIGUES, L.R.A.; REIS, R.A. Adaptação de plantas forrageiras as condições adversas. In: SIMPÓSIO SOBRE O ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 2.1993. Jaboticabal, **Anais...** Jaboticabal: UNESP, 1993. p. 17-61.
- ROLIM, F.A. Estacionalidade de produção de forrageiras. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM, 6.,1980.Piracicaba.**Anais...**Piracicaba: FEALQ, 1980. p. 39-81.
- RUSSELL, J.S.; WEBB, H.R. Climatic range of grass and legumes used in pastures. In: INTERNATIONALGRASSLANDCONGRESS, 42.,1976.**Proceedings**...São Paulo, 1976. p. 156–163.
- SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.
- SANTOS, F.G.; CHAVES, M.A.; SILVA, M.W.R.; SOARES, R.D.; FRANCO, I.L.; PINHO, B.M. Índice climático de crescimento para os capins *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *Cynodon dactylon* cv. Tifton 85 e*Panicum maximum* cv. Tanzânia e Relação com a produção de massa seca. **Ciência Animal Brasileira**, Jataí, v. 9, n. 3, p. 627-637, 2008.
- SANTOS, P.M.; VOLTOLINI, T.V.; CAVALCANTE, A.C.; PEZZOPANE, R.M.; MOURA, M.S.B.; SILVA, T.G.F.; BETTIOL, G.M.; CRUZ, P.G. Mudanças climáticas globais e a pecuária: Cenários futuros para o semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.6, p. 1176-1196, 2011.
- SALVUCCI, M.E.; CRAFTS-BRANDNER, S.J. Relationship between the heat tolerance of photosynthesis and the thermal stability of rubisco activase in plants from contrasting thermal environments. **Plant Physiology**, Rockville, v.134, p. 1460-1470, 2004.
- SECRETARIA DE ADMINISTRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO SEADE. **Perfil do Estado de São Paulo**. Disponível em:<a href="http://www.seade.gov.br">http://www.seade.gov.br</a> Acesso em: 2 dez.2013.

- SILANIKOVE, N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 67, n. 1, p. 1-18, 2000.
- SOUZA, E.M.; ISEPON, O.J.; ALVES, J.B.; BASTOS, J.F.P.; LIMA, R.C. Efeitos da irrigação e adubação nitrogenada sobre a massa de forragem de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v.34, n.4, p. 1146-1155, 2005.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.
- TRENBERTH, K.E.; STEPANIAK, D.P. Indices of El Niño evolution. **Journal of Climate**, Whashington, v. 14, n. 8, p. 1697-1701, 2001.
- TONATO, F.; BARIONI, L.G.; PEDREIRA, C.G.S.; DANTAS, O.D.; MALAQUIAS, J.V. Desenvolvimento de modelos preditores de acúmulo de forragem em pastagens tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.5, p.522-529, 2010.
- TOSI, P. Estabelecimento de parâmetros agronômicos para o manejo e eficiência de utilização de *Panicum maximum* Jaqc. cv. Tanzânia-1 sob pastejo rotacionado.1999. 103p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagem) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba,1999.
- VALLENTINE, J.F. Grazing management. San Diego: Academic Press, 1990. 533p
- VAN LOO, E.N. Tillering, leag expansion and growth of plants of two cultivars of perennial ryegrass grown using hydroponics at two water potential. **Annals of Botany**, London, v.70, n.6, p.51-518, 1992.
- VANZELA, L.S.; HERNANDEZ, F.B.T.; GARGANTINI, P.E.; LIMA, R.C. Qualidade de forragem de capim Mombaça sob irrigação na região oeste do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, CONIRD,16., 2006. Goiânia, **Anais...**Goiania,2006. p. 1-7.
- VILLA NOVA, N.A.; BARIONI, L.G.; PEDREIRA, C.G.SW. Modelo para previsão de produtividade do capim elefante em função da temperatura do ar, fotoperíodo e frequência de desfolha. **Revista Brasileira de Agrometeorologia,** Santa Maria, v.7, n.1, p. 75-79, 1999.
- ZIMMER, A.H.; EUCLIDES FILHO, K. As pastagens e a pecuária de corte brasileira. **Simpósio Internacional sobre produção animal em pastejo**, v. 1, p. 349-379, 1997.

ZHAO, Y.; WANG, C.; WANG, S.; TIBIG, L. Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the humid and sub-humid tropics. **Climate Change**, Whashington, v. 70, p. 73-116, 2005.