

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS
ESCOLA DE ECONOMIA DE SÃO PAULO

GUILHERME DE AZEVEDO SODRÉ

**2040 - O AQUECIMENTO GLOBAL GERANDO IMPACTO ECONÔMICO NA
PRODUÇÃO DE CANA NO ESTADO DE SÃO PAULO**

SÃO PAULO
2010

SODRÉ, Guilherme de Azevedo.

**2040 - O AQUECIMENTO GLOBAL GERANDO IMPACTO ECONÔMICO
NA PRODUÇÃO DE CANA NO ESTADO DE SÃO PAULO.**

Guilherme de Azevedo Sodré. - 2010.
87 f.

Orientador: Eduardo Delgado Assad
Dissertação (mestrado profissional) - Escola de Economia de São Paulo.

1. Cana-de-açúcar – São Paulo (Estado). 2. Mudanças climáticas. 3. Aquecimento global – Aspectos econômicos. 4. Agroindústria canavieira – São Paulo (Estado). I. Assad, Eduardo Delgado. II. Dissertação (mestrado profissional) - Escola de Economia de São Paulo. III. Título.

CDU 633.61(81)

GUILHERME DE AZEVEDO SODRÉ

**2040 - O AQUECIMENTO GLOBAL GERANDO IMPACTO ECONÔMICO NA
PRODUÇÃO DE CANA NO ESTADO DE SÃO PAULO**

Dissertação apresentada à Escola
de Economia de São Paulo da
Fundação Getúlio Vargas, como
requisito para obtenção do título de
Mestre em Agroenergia.

Campo de conhecimento:
Economia

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Delgado
Assad

SÃO PAULO
2010

GUILHERME DE AZEVEDO SODRÉ

**2040 - O AQUECIMENTO GLOBAL GERANDO IMPACTO ECONÔMICO NA
PRODUÇÃO DE CANA NO ESTADO DE SÃO PAULO**

Dissertação de Mestrado apresentada à
Escola de Economia de São Paulo da
Fundação Getúlio Vargas, como requisito
para a obtenção de título de Mestre em
Agroenergia.

Campo de conhecimento:

Economia

Data de Aprovação:

__/__/__

Banca examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Delgado Assad
(orientador)
EMBRAPA

Prof. Dr. Roberto Rodrigues
FGV-ESALQ

Prof. Dr. Hilton Silveira Pinto
UNICAMP

Aos meus pais, Antonio e Ida, a minha
esposa, Virgínia, e aos meus filhos, Lara
e Antonio, pela paciência e dedicação.

Agradecimentos

À equipe da Embrapa Informática Agropecuária, pela ótima recepção que tivemos em Campinas; em especial ao Mestre e Orientador Prof. Assad, que superou todas expectativas; ao Prof. Fábio Marin pelo conhecimento e dedicação; ao Prof. Roberto Rodrigues pela indicação deste curso de Mestrado; à equipe do Prof. Bernardo Rodorff, do INPE, pelo fornecimento de dados atualizados, necessários à geração dos mapas; à colaboração de Murilo dos Santos Vianna na elaboração das imagens; ao nosso Mestre e incentivador, Prof. Roberto Perosa, pela liderança e paciência com nossa turma; à Lilian Lobo de Rezende, pela dedicação na revisão do trabalho; ao Alexandre de Angelis, organizador e responsável por tudo funcionar na sala de aula; e a todos que permitiram a elaboração deste trabalho e que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento do primeiro curso de Mestrado Agroenergia no Brasil.

“Courage doesn't always roar. Sometimes courage is the quiet voice at the end of the day saying, ‘I will try again tomorrow’.”
- Steve Jobs

Resumo

A questão básica deste estudo é avaliar qual o grau de influência da mudança do clima na produção da cana-de-açúcar e o impacto no desenvolvimento do setor sucroenergético do Brasil. O aquecimento global é um fenômeno climático de grande extensão: o aumento da temperatura média na superfície da Terra vem ocorrendo desde o início do século passado. Vários debates científicos buscam explicar esse fenômeno de elevação de temperatura. A grande discussão entre os cientistas é saber se as causas são apenas os ciclos naturais do planeta e/ou se têm sido provocada pelo homem (antropogênicas). O aquecimento global, quer seja provocado por influência do desenvolvimento humano, seja por fatores cíclicos naturais do planeta, ou por ambos, é uma realidade que terá que ser enfrentada nas próximas décadas. O estado de São Paulo apresenta hoje as melhores condições climáticas para produção da cana no país e uma mudança climática poderá gerar impacto econômico direto no setor sucroenergético do Brasil e no PIB brasileiro. Nesse sentido, uma avaliação é feita, considerando o aumento da temperatura nas próximas décadas, das possíveis alterações tanto na expansão da área plantada, quanto na produção da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, tendo como premissa básica os cenários climáticos definidos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas no ano de 2007.

Palavras-Chave: Aquecimento global, cana-de-açúcar, produção de cana.

Abstract

The basic issue of this study is to assess the degree of influence of the climate change in the production of sugarcane and the impact on the development of the sugar-energy sector in Brazil. The global warming is a climate phenomenon of great extension: the increase in the average temperature on the Earth's surface has been taking place since the beginning of the last century. Several scientific debates have been seeking to explain this phenomenon of temperature rise. The great debate among scientists is knowing whether the causes are just the natural cycles of the planet and / or whether they have been caused by mankind (anthropogenic). The global warming, either caused by the influence of human development, or by the planet's natural cyclical factors, or both, is a reality that will have to be faced in the coming decades. Today, the state of Sao Paulo presents the best climatic conditions for sugarcane production in Brazil and a climate change may generate a direct economic impact on the sugar-ethanol sector in Brazil, as well as on the Brazilian GDP. In this sense, an assessment is made, considering the temperature rise in the coming decades, the possible changes both in the expansion of planted area and the production of sugarcane in Sao Paulo, having as a basic premise the climate scenarios defined by the Intergovernmental Panel on Climate Changes (IPCC) in 2007.

Keywords: Global warming, sugar cane, cane production.

Lista de Figuras

Figura 1: O aquecimento do sistema global é inequívoco	13
Figura 2: Furacão Katrina - Nova Orleans (EUA), em 2005	19
Figura 3: Total anual das emissões globais de CO ₂ provenientes de todas as fontes (energia, indústria e mudanças no uso do solo) de 1990 a 2100 (em gigatoneladas de carbono - GtC/a) *	24
Figura 4: Temperaturas médias à superfície no período 1850-2000	26
Figura 5: Relação entre a temperatura média global e os impactos das mudanças climáticas.....	28
Figura 6: Compromisso com o aquecimento da estabilização em diferentes níveis de gases com efeito de estufa.....	29
Figura 7: Emissões seguindo padrão atual de desenvolvimento do mundo (<i>Business as Usual</i>) e trajetórias de estabilização compreendidas entre 450-550 ppm	30
Figura 8: Projeções climáticas para o futuro (2071-2100) do modelo HadCM2 do <i>Hadley Centre</i> do Reino Unido mostrando áreas com condições mais favoráveis para desenvolvimento de furacões no Atlântico Sul, em cenários de aquecimento globais mais pessimistas A2	34
Figura 9: Tornados no interior de São Paulo	35
Figura 10: Tornados no interior de São Paulo	36
Figura 11: Tendência de episódios de chuva intensa definidos pelo índice R10 (número de dias com mais de 10 mm) e pelo índice de extremos de chuva intensa definido pelo índice R95t (fração total de precipitação devido a eventos de chuva acima do percentil de 95th), para o período de 1961-2000.....	38
Figura 12: Projeções de temperatura média anual para o Brasil para vários cenários de emissões e tomando a média de seis modelos climáticos globais.....	39
Figura 13: Anomalias anuais de chuva (painel superior, em mm/dia) e temperatura (painel inferior, em °C) para América do Sul, período 2071-2100 em relação a 1961-90, para os cenários IPCC A2 (pessimista) e IPCC B2 (Otimista).	42
Figura 14: Projeções de mudanças de temperatura e chuva para o Brasil para o final do Século XXI, assim como impactos esperados.....	44
Figura 15: Perdas de energia mínima calculado para 1000hj de radiação solar incidente em cada etapa distinta do processo fotossintético das plantas,	

intercepção da radiação para a formação de energia química armazenada na biomassa.....	50
Figura 16: Produção de matéria seca de colmos de cana-de-açúcar por hectare no período compreendido entre 2000 a 2099, para a cidade de Barretos – SP, considerando o ciclo de um ano e o plantio realizado em outubro.....	52
Figura 17: Os efeitos da temperatura e do CO ₂ sobre a eficiência de conversão de energia de fotossíntese C ₃ e C ₄ para o passado, presente e futuro condições atmosféricas.....	53
Figura 18: Simulações de produtividade global líquida primária terrestre usando o cenário transitório HadCM3a1 climáticas a 2050. concentração de dióxido de carbono,(●) NPP com o aumento da concentração de dióxido de carbono; (o) concentração de dióxido de carbono mantida constante em 1900 o valor.....	54
Figura 19: Área foliar total da haste principal da cana-de-açúcar.....	63
Figura 20: Volume total de suco por haste principal da cana-de-açúcar.....	65
Figura 21: Mapas de projeções de acréscimo de temperatura do ar para 2040 considerando cenário A de mudanças climáticas globais.....	65
Figura 22: Mapas de projeções de acréscimo de temperatura do ar para 2040 considerando cenário B de mudanças climáticas globais.....	65
Figura 23: Expansão de Produção de Cana-de-açúcar em São Paulo.....	70
Figura 24: Risco Climático para Cultura da Cana-de-açúcar para o Estado de São Paulo em 2010.....	71
Figura 25: Risco Climático para Cultura da Cana-de-açúcar para o Estado de São Paulo em 2020.....	72
Figura 26: Risco climático para a cultura de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo em 2030.....	73
Figura 27: Risco climático para cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo em 2040.....	74
Figura 28: Risco climático para cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo para áreas atuais e áreas de expansão.....	75
Figura 29: Somatória dos Ganhos de Produtividade pelo aumento de temperatura e CO ₂ em 2040.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Maiores corporações do mundo em 2009	31
Tabela 2: Aumento de temperatura do ar (°C) em 2100 representado pela média de 6 modelos climáticos globais do IPCC TAR para dois cenários de emissões (A2-pessimista e B2-otimista) e para cada região do país considerada no estudo.	41
Tabela 3: Resumo do trabalho Marin, et al.(2009) com foco nas regiões produtoras de cana do Estado de São Paulo.	66
Tabela 4: Resumo dos experimentos apresentados para estimarmos o impacto com os cenários A2 e B2.....	69

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivo.....	12
1.2 Hipótese	12
2 DESENVOLVIMENTO.....	13
2.1 Mudanças climáticas	13
2.2 Causas	16
2.3 Efeitos	17
2.4 Modelos climáticos	20
2.5 Cenários do Painel Intergovernamental sobre as Mudanças do Clima (IPCC)	21
2.6 O relatório STERN.....	25
2.6 Caminhos para Estabilização das Emissões.....	29
2.7 O Clima do Presente	32
2.8 Eventos Extremos.....	33
2.9 O Clima do Futuro no Brasil.....	36
2.10 Possíveis Impactos das Mudanças Climáticas no Brasil	42
2.11 Energia Limpa	45
2.12 A eficiência da Cana-de-açúcar	48
2.13 A importância do CO ₂	52
2.14 Cenários futuros para a cana.....	55
2.15 Disponibilidade hídrica.....	58
2.16 Material e Experimentos	62
2.17 Material e métodos.....	66
2.18 Temperatura e foto período.....	67
2.19 Deficiência Hídrica	67
3 RESULTADOS	71
3.1 Discussão	76
4 CONCLUSÃO	78
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	80

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas sempre exerceram grande impacto na vida da Terra e apenas as espécies que se adaptaram a essas mudanças conseguiram manter sua existência. A raça humana mostrou sua adaptabilidade ao passar por diferentes ciclos de aquecimento e resfriamento da Terra. Até muito pouco tempo atrás (100 anos), a civilização humana nunca teve a possibilidade de influenciar o clima. Nas últimas décadas, além do aumento populacional exponencial, houve aumento da renda, com a conseqüente melhoria da qualidade de vida para centenas de milhões de pessoas, que se traduz em mais consumo de energia per capita. Essa maior necessidade de consumo energético está mudando esse quadro.

1.1 Objetivo

Avaliar o impacto que essas mudanças climáticas poderão provocar na produtividade da cana-de-açúcar, matéria-prima essencial para o setor sucroenergético, no Estado de São Paulo.

1.2 Hipótese

As mudanças climáticas esperadas com a elevação de temperatura e maior concentração de CO₂ na atmosfera poderão ser positivas e permitir o aumento da produção de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo até o ano de 2040.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Mudanças climáticas

O principal órgão científico da Organização das Nações Unidas (ONU), o Painel Intergovernamental Para Mudanças Climáticas (IPCC), acredita que o aumento de concentração de poluentes na atmosfera é a causa do efeito estufa. A Terra recebe diariamente radiação emitida pelo sol, e devolve grande parte para o espaço através de radiação de calor. Dessa forma, os poluentes atmosféricos estariam retendo parte dessa radiação, impedindo que ela seja refletida para o espaço. Essa radiação, contida, seria responsável pelo aumento de temperatura em nosso planeta.

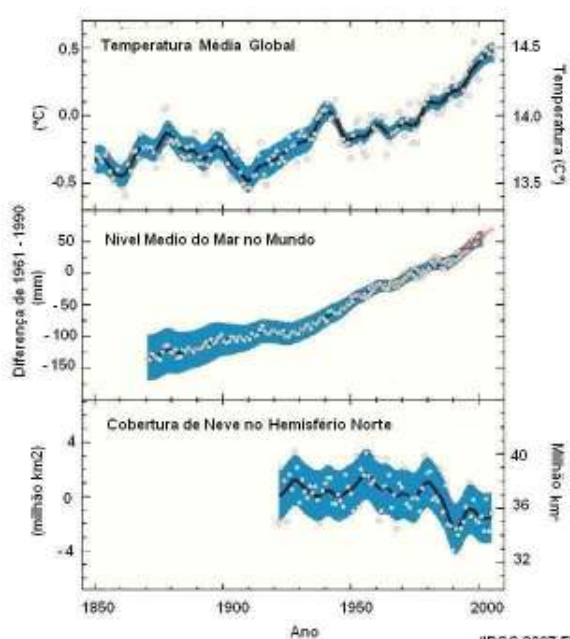


Figura 1: O aquecimento do sistema global é inequívoco
 Fonte: IPCC 2007.

Segundo o IPCC (2007), a principal evidência do aquecimento global vem das medidas de temperatura realizadas em estações meteorológicas espalhadas pela

Terra desde 1860. Esses dados, aplicadas as correções dos efeitos de "ilhas urbanas", confirmam que o aumento médio da temperatura foi de $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ durante o século XX, sendo que os principais aumentos de temperatura ocorreram em dois períodos - de 1910 a 1945 e de 1976 a 2000. Outras evidências secundárias foram observadas, como as reduções da cobertura de neve das montanhas e de áreas geladas como os glaciais, aumento do nível dos mares, aumento das precipitações e eventos extremos em várias regiões locais da Terra.

Segundo o IPCC (2007), foram confirmados, por imagens de satélites, dados que mostram uma diminuição de 10% na área coberta por neve desde os anos 60. No hemisfério norte, na primavera e verão, também houve diminuição em cerca de 10% a 15% na camada de gelo desde 1950 e retração das montanhas geladas em regiões não polares durante todo o século XX. Outro exemplo apresentado foi Thompson (2009), que concluiu que, se as condições climáticas persistirem, os lendários glaciais de mais de 12.000 anos e o gelo do ponto mais alto da África irão desaparecer.

Conforme matéria publicada no Jornal "O Estado de São Paulo" de 31 de Agosto de 2010, o *Inter Academy Council*, que reúne sociedades acadêmicas de vários países, entre eles o Brasil, realizou uma auditoria e, segundo o Presidente do IPCC Rajendra Pachauri, "o IPCC não teve contestada sua avaliação de que as mudanças climáticas estão de fato acontecendo e são causadas de principalmente pela atividade humana" (AGÊNCIA ESTADO, 2010).

Segundo Thompson (2009), basta unir os pontos se forem mantidos os padrões atuais, e em 15 anos não haverá mais gelo no topo do Monte Kilimanjaro.

Outro aspecto, mais sério que o gelo no Monte Kilimanjaro, foi discutido pela Organização Ambiental Greenpeace: o aquecimento global poderá causar 200 milhões de refugiados do clima até 2040 e grande parte das populações dos países pobres será afetada. Essa previsão se baseia em um estudo acadêmico da Universidade Cord Jakobeit, da cidade de Hamburgo, na Alemanha. Os especialistas concluíram que já existem pelo menos 20 milhões de refugiados do clima, sendo que

alguns pesquisadores acreditam que o número irá aumentar em 10 vezes, à medida que o impacto da elevação das temperaturas for mais sentido, principalmente nos eventos extremos. Esse trabalho aponta que os habitantes mais propensos a ter que abandonar suas casas devido aos desastres ambientais causados pelo aquecimento global seriam os habitantes das regiões mais pobres do mundo.

Boehling (2007) especialista do Greenpeace para o clima, alerta:

As pessoas mais pobres do mundo não tiveram participação na mudança climática, mas serão as primeiras a sofrer severamente suas conseqüências. Enquanto isso, as nações industrializadas que causaram o aquecimento global negam a existência de refugiados do clima e usam suas leis para evitar ter que cuidar deles. (GREENPEACE, 2010).

Lovelock (2008) acredita que muitas geleiras poderão desaparecer antes de 2040, o que terá efeitos devastadores. A elevação da temperatura do planeta tem provocado o alarmante derretimento dessas geleiras, bem próximo da nascente de alguns dos mais importantes rios da Ásia. Esse aumento do volume de água poderá provocar catástrofes, pois nas margens desses rios vivem quase 1,1 bilhões de habitantes. Para Lovelock (2008), a elevação da temperatura em até 8°C nas regiões temperadas e 5°C nos trópicos provocará, antes de 2100, impactos desastrosos no equilíbrio ecológico, como a extinção maciça de espécies vegetais e animais e o desaparecimento de vastas áreas selvagens como a Floresta Amazônica, decretando o fim da maior parte da vida na Terra, com a morte de milhões, talvez bilhões de pessoas.

Segundo Margulis e Dubeux (2010), além de dificultar a tomada de decisões, a gravidade e a complexidade do problema exigem prontidão para agir no momento certo, dispondo de antemão de alternativas bem delineadas e analisadas.

O conhecimento técnico está atrelado à capacidade das instituições do governo de obter as informações necessárias e de definir políticas e incentivos apropriados.

2.2 Causas

As mudanças climáticas ocorrem devido a fatores internos e externos. Os fatores internos são aqueles associados à complexidade derivada do fato de os sistemas climáticos serem sistemas caóticos não-lineares. Fatores externos podem ser naturais ou antropogênicos.

Segundo o IPCC (2007), o principal fator externo natural é a variabilidade da radiação solar que atinge a Terra, pois depende dos ciclos solares e da temperatura interna do sol. Fatores antropogênicos são aqueles atribuídos à influência humana na Terra que promovem o efeito estufa. O principal é a emissão de sulfatos que sobem até a estratosfera causando alteração da camada de ozônio.

No último milênio, segundo Lomborg (1998), dois importantes períodos de variação de temperatura puderam ser observados: um período quente, conhecido como Período Medieval Quente, e um frio, conhecido como Pequena Idade do Gelo. Estima-se que as variações de temperatura desses períodos apresentem a mesma magnitude ao fenômeno atual de aquecimento que estamos enfrentando. A Pequena Idade do Gelo foi atribuída a uma redução da atividade solar, e alguns cientistas consideram a hipótese de que o aquecimento terrestre observado desde 1860 é uma reversão natural da Pequena Idade do Gelo.

Desde o início da revolução industrial, a partir de 1750, grandes quantidades de gases têm sido lançadas na atmosfera. Estudos feitos pelo IPCC comprovam que as emissões de dióxido de carbono aumentaram 31%, as de metano, 151%, as de óxido de nitrogênio, 17% e as de ozônio troposférico, 36%. Estimativas apontam que essa concentração poderá atingir aproximadamente 720 ppm até a metade deste século.

A queima de combustíveis fósseis é responsável pela produção da maior parte desses gases. Os cientistas acreditam que a redução das áreas de florestas tropicais, assim como das florestas antigas, tem contribuído para o aumento do CO₂

na atmosfera. Por outro lado, desde 1990, a quantidade de carbono absorvido é maior que a quantidade liberada no desflorestamento; a causa disso são as florestas novas nos Estados Unidos, na Rússia e no Brasil, que contribuem para absorver dióxido de carbono. Metade do dióxido de carbono emitido é absorvido pelos mares e florestas, não se acumulando na atmosfera, ao contrario do que muitos pensam.

2.3 Efeitos

O aquecimento global tem sido fonte de grande preocupação por parte dos estudiosos, dos governos e das comunidades científicas, pelo fato de que os efeitos do aquecimento sobre a saúde humana, economia e meio ambiente ainda não estão bem definidos; porém, foram observadas importantes mudanças ambientais, que os cientistas acreditam estarem ligadas ao aquecimento global.

Algumas evidências secundárias - diminuição da cobertura de gelo, aumento do nível do mar, mudanças dos padrões climáticos - comprovam que o aquecimento global pode influenciar não somente as atividades humanas, mas também os ecossistemas.

A elevação da temperatura global permite que um ecossistema mude, devido às mudanças nas condições ambientais. Com isso, algumas espécies de animais podem ser forçadas a deixar os seus habitats, gerando uma possibilidade de extinção, enquanto outras podem se espalhar, invadindo outros ecossistemas.

Contudo, as elevações de temperatura e os aumentos de concentrações de CO₂, causados pelo aquecimento global, ajudam a aprimorar a produtividade do ecossistema. Esse efeito foi comprovado através de observações por satélites, que demonstraram que, no hemisfério Norte, a produtividade vem aumentando desde 1982.

Outra grande preocupação, relatada pelo IPCC (2007), é o aumento do nível do mar.

Segundo os estudos realizados pelo órgão, o nível dos mares está aumentando de 10 cm a 20 cm por década; em alguns países insulares, no Oceano Pacífico, há expressiva preocupação, porque cedo esses países estarão debaixo d'água. O aquecimento global provoca subida dos mares, principalmente por causa da expansão térmica da água dos oceanos. Mas alguns cientistas estão preocupados que, no futuro, a camada de gelo polar e os glaciares derretam. Em consequência, haverá aumento do nível em muitos metros. No momento, os cientistas não esperam um maior derretimento nos próximos 100 anos.

O IPCC-TAR (IPCC, 2001) relata que, em todo o globo, o nível médio do mar pode aumentar entre 30 cm e 80 cm nos próximos 50 a 80 anos. Variações do nível relativo do mar podem ocorrer também por causa da expansão térmica, provocada pelo aquecimento global, e pelas marés meteorológicas, ocasionadas pelo aumento da intensidade dos ventos.

Segundo o mais recente relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC 2007), a mudança no comportamento de ciclones vem sendo observada desde a década de 70:

Há evidências, obtidas com base em observações, de um aumento da atividade intensa dos ciclones tropicais no Atlântico Norte desde cerca de 1970, correlacionado com os aumentos das temperaturas da superfície do mar nos trópicos. Também se sugere um aumento da atividade intensa dos ciclones tropicais em algumas outras regiões, embora com maior preocupação sobre a qualidade dos dados. (LOPES ET AL, 2008, p. 90)

Em 2005, registros apontaram que o buraco na camada de Ozônio da Antártica foi o terceiro maior registrado após os anos de 2000 e 2003.

O Programa de Meio Ambiente da Organização das Nações Unidas e instituições financeiras privadas (Unep FI, 2005), menciona que os prejuízos causados por condições extremas do tempo podem ultrapassar a cifra de 1 trilhão de dólares em um único ano até 2040.

Na conferência da ONU sobre o clima, realizada no Quênia em novembro de 2006,

estimativas de custos relacionados a estiagens, tempestades, furacões e enchentes atingiram o montante recorde de 210 bilhões de dólares em 2005, e a perspectiva é de que os prejuízos desse tipo, ligados ao aquecimento global, dobrem a cada 12 anos.

Segundo a ONU, o aquecimento global exerce influência direta nos agentes hidrometeorológicos, sobretudo na força dos furacões, pois a energia térmica do ar e dos oceanos é transformada em energia mecânica, aumentando sua força e seu poder de destruição. Em outras palavras: quanto mais quente estiver o ar e os oceanos, mais fortes serão os furacões.

Trenberth (2010) sugeriu que o furacão Katrina trouxe mais chuvas para a Costa do Golfo porque a tempestade foi intensificada pelo aquecimento global, e casos recentes foram tão severos que alguns cientistas estão abandonando sua tradicional posição de cautela e atribuindo ao clima a ocorrência de certos desastres.

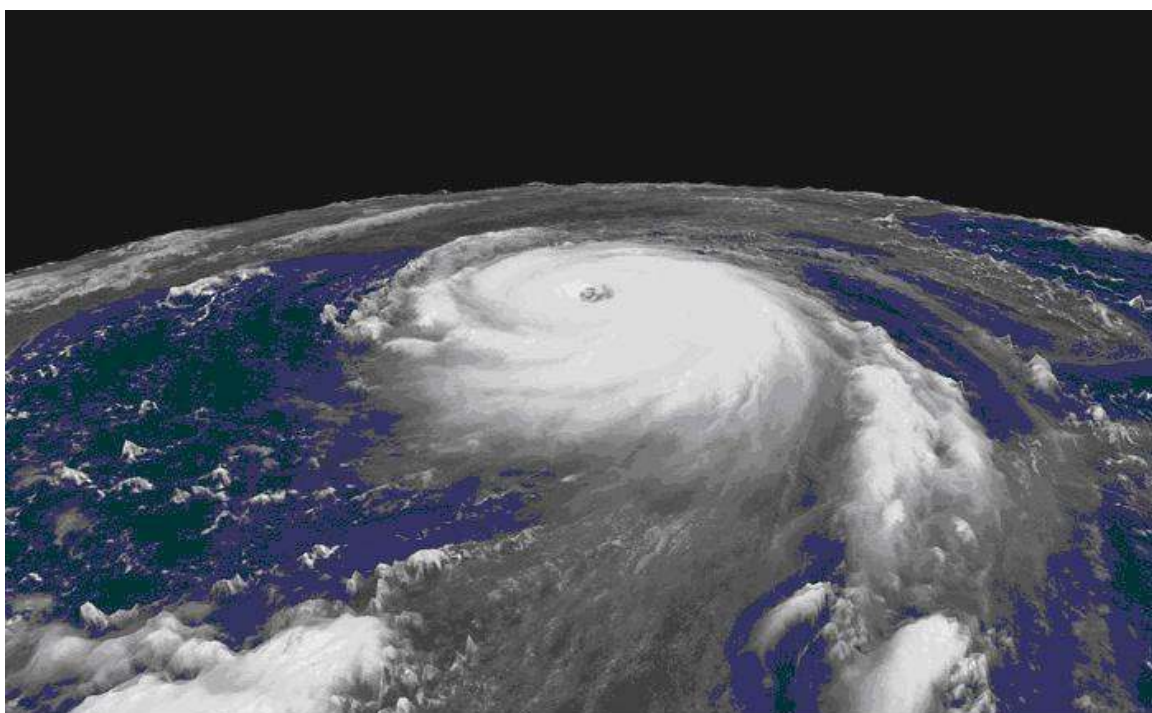


Figura 2: Furacão Katrina - Nova Orleans (EUA), em 2005

Fonte: Website - <http://eds.salles.blog.uol.com.br/images/furacao.katrina.jpg>

O relatório do IPCC aponta um inquietante futuro:

Com base em uma gama de modelos, é provável que os futuros ciclones tropicais (tufões e furacões) fiquem mais intensos, com maiores picos de velocidade de ventos e mais precipitação forte associados aos aumentos atuais das temperaturas de superfície do mar tropicais. Há menor confiança em projeções de uma redução global dos números de ciclones tropicais. O aumento aparente na proporção de tempestades muito intensas desde 1970 em algumas regiões é muito maior do que o simulado pelos modelos atuais para esse período. (RICHARD ET AL, 2007, p. 21).

Easterling (2010) junto ao NOAA (*Nacional Oceanic and Atmospheric Administration*) e com outras grandes unidades de investigação do clima do mundo recentemente realizaram a primeira grande revisão do clima desde o relatório IPCC de 2007 e encontraram inequívocos sinais de aquecimento global.

Easterling (2010) é confiante de que a pesquisa básica e as conclusões estão corretas. "O mundo já está aquecido, e é praticamente certo que muito disso veio de atividades humanas" (HARVEY, 2010, p. 5).

2.4 Modelos climáticos

O aquecimento atmosférico ocorrido de 1910 até 1945 tem sua causa explicada somente por forças internas e naturais (variação da radiação solar), enquanto que, para ser explicado o aquecimento ocorrido de 1976 a 2000, simulações climáticas demonstram que ele ocorreu em consequência das emissões de gases antropogênicos causadores do efeito estufa.

Segundo o IPCC, a maioria da comunidade científica está atualmente convencida de que uma proporção significativa do aquecimento global observado é originado pela emissão de gases causadores do efeito estufa emitido pela atividade humana. Essa conclusão, ainda segundo o IPCC, depende da exatidão dos modelos usados e da estimativa correta dos fatores externos. A maioria dos cientistas concorda que

importantes características climáticas estão sendo incorretamente incorporadas nos modelos climáticos, mas eles também pensam que modelos melhores não mudariam a conclusão.

De acordo com Lomborg (1998), existem falhas nos modelos e fatores externos, não levados em consideração, poderiam alterar as conclusões citadas. Os críticos dizem que simulações climáticas são incapazes de modelar os efeitos resfriadores das partículas, ajustarem a retroalimentação do vapor de água e levar em conta o papel das nuvens. Críticos também mostram que o sol pode ter uma maior cota de responsabilidade no aquecimento global do que o aceito pela maioria da comunidade científica. Alguns efeitos solares indiretos podem ser importantes e não são levados em conta pelos modelos. Assim, a parte do aquecimento global causado pela ação humana poderia ser menor do que se pensa atualmente.

Lomborg (2010), em matéria publicada no Jornal The Guardian e reproduzida na Folha de São Paulo de 31 de Agosto de 2010, revê sua posição e agora clama por um Fundo Global de US\$100 bilhões por ano para pesquisas sobre soluções para as mudanças climáticas. Em seu novo livro, Soluções Inteligentes para as Mudanças Climáticas, Lomborg (2010) argumenta agora que a questão deve ser tratada como prioridade.

2.5 Cenários do Painel Intergovernamental sobre as Mudanças do Clima (IPCC)

O aquecimento global está sendo estudado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007). Ele reúne cientistas de diferentes países, incluindo o Brasil, e, nesse estudo, construíram quatro diferentes cenários de desenvolvimento futuro, até o ano 2100. Tais cenários são utilizados para projetar as possíveis mudanças climáticas globais e regionais.

Segundo o IPCC (2007), o cenário A1 descreve um mundo com desenvolvimento econômico rápido, crescimento populacional lento e rápida introdução de novas e

mais eficientes tecnologias. É um cenário otimista do ponto de vista das emissões de gases do efeito estufa. Já no cenário A2, o IPCC (2007) aponta a existência de um grande fosso entre países ricos e pobres, o crescimento populacional é rápido, e o desenvolvimento econômico é lento, assim como a adoção de novas tecnologias. As necessidades energéticas são atendidas com uso intensivo de combustíveis fósseis. É um cenário pessimista.

O cenário B1, segundo o IPCC (2007), é mais otimista. Descreve um mundo sustentável, no qual as preocupações ambientais estimulam o desenvolvimento de tecnologias que evitam o consumo de combustíveis fósseis e que são rapidamente assimiladas em todo o planeta.

Para se criar, nesse cenário, uma economia ambientalmente sustentável, será necessário se atenuar o abismo existente entre ricos e pobres.

Finalmente, o cenário B2, que o IPCC (2007) descreve, é um mundo desequilibrado em relação ao uso de inovações tecnológicas. As soluções para o desenvolvimento econômico, social e ambiental são locais e díspares. Em algumas regiões, novas tecnologias se desenvolvem rapidamente e, em outras, continuam a serem empregadas técnicas antiquadas.

O último relatório do IPCC (2007) faz algumas previsões a respeito das mudanças climáticas, que servem de base para os atuais debates políticos e científicos, auxiliando os governos, para que possam tomar decisões que consigam evitar os indesejados impactos causados pelo aquecimento global.

Os modelos atuais alimentam-se dos dados sobre emissões antropogênicas, dos gases causadores de efeito estufa e de aerossóis, gerados a partir de 35 cenários distintos, que variam entre pessimistas e otimistas. As previsões do aquecimento global dependem do tipo de cenário levado em consideração e nenhum deles leva em consideração qualquer medida para evitar o aquecimento global.

Existe uma grande controvérsia científica sobre as previsões feitas pelo IPCC (2007), mesmo sendo, no momento, consideradas as melhores previsões

disponíveis para estudo.

Em sua análise, o IPCC (2007) admite a necessidade do desenvolvimento de melhores modelos analíticos e compreensão científica dos fenômenos climáticos, assim como a existência de incertezas no campo. Críticos apontam o fato de que os dados disponíveis não são suficientes para determinar a importância real dos gases causadores do efeito estufa nas mudanças climáticas.

A sensibilidade do clima aos gases causadores do efeito estufa estaria sendo sobreestimada, enquanto fatores externos estariam sendo subestimados. Sabe-se que fatores naturais, como grandes vulcões e terremotos, podem ser devastadores para a vida na Terra.

Por outro lado, o IPCC (2007) não atribui qualquer probabilidade aos cenários em que suas previsões são baseadas. Segundo os críticos, isso leva a distorções dos resultados finais, pois os cenários que predizem maiores impactos seriam menos passíveis de concretização, por contradizerem as bases do racionalismo econômico.

O IPCC (2007) descreve o cenário A2 (pessimista, emissões altas) como um mundo heterogêneo, com pouca ênfase nas trocas econômicas, sociais e culturais entre regiões. Nesse cenário, o crescimento econômico *per capita* e as mudanças tecnológicas são desiguais e lentas, dificultando a redução do abismo entre as regiões do mundo já industrializadas e as regiões em desenvolvimento.

O cenário B2 se mostra menos pessimista, prevendo emissões mais baixas de CO₂, pressupondo um mundo em que será maior a preocupação com a sustentabilidade social e ambiental, com uma taxa menor de crescimento da população mundial e o desenvolvimento econômico será mais homogêneo que no cenário A2. Contudo, a introdução de inovações tecnológicas continuará a ser heterogênea regionalmente.

A figura 3 mostra os totais de emissões globais anuais de CO₂ (o principal gás causador do efeito estufa) projetados para os dois cenários.

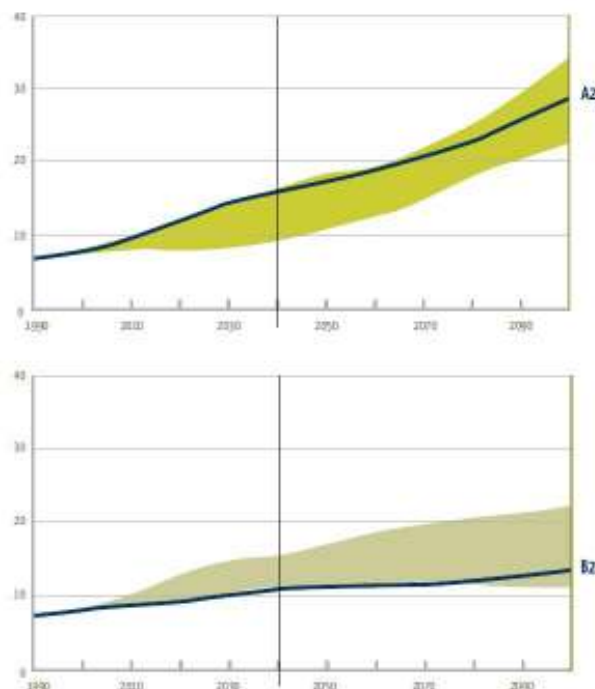


Figura 3: Total anual das emissões globais de CO₂ provenientes de todas as fontes (energia, indústria e mudanças no uso do solo) de 1990 a 2100 (em gigatoneladas de carbono - GtC/a) *

Fonte: Sumário Executivo do Relatório Mudanças Climáticas e Segurança Energética no Brasil – 2008, p. 1; IPCC (2000).

As alterações climáticas decorrentes do aquecimento global constituem um problema social da maior importância para o Brasil. A idéia de que são “questões para os países ricos” – porque eles criaram e, portanto, têm obrigação de resolvê-las – é uma tradução infiel do princípio da responsabilidade comum, porém diferenciada, consagrado na Convenção da ONU sobre a Mudança do Clima.

Estudos realizados pela FEA/USP (2010), baseados no Relatório Stern, dizem que é cada vez mais improvável que seus impactos possam ser evitados apenas com esforços de mitigação das nações mais ricas, pois as emissões anuais de alguns países em desenvolvimento, como China, Índia e Brasil, hoje já são maiores que as de muitas economias desenvolvidas (em termos brutos, mas não *per capita*).

Nos últimos dois relatórios do IPCC (2001 e 2007) e em vários outros trabalhos científicos publicados recentemente, afirmou-se que a mudança climática é um fato evidente e se deve, principalmente, à ação do homem. Desde 2001, houve grandes

avanços científicos e de modelagem climática que permitiram uma adequação continua das estimativas. O Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (AR4 2007) indicou uma variação extrema entre 1,1°C e 6,2°C, com média de 4°C, até o final do século XXI, considerando, como referência, a média de 1990.

Além disso, o IPCC AR4 (2007) assegura que a porcentagem das atividades humanas, lideradas pela queima de combustível fóssil, que são responsáveis pelo aquecimento da atmosfera desde meados do século XX, é de 90%. Além da elevação de temperatura, são previstas mudanças no regime de chuvas, embora essas projeções sejam mais trabalhosas e permaneçam ainda muito incertas.

Estudos, como o do Relatório STERN (2006), vêm trazer credibilidade e fundamentação das previsões, colaborando para os estudos econômicos que subsidiam as tomadas de decisão no plano interno e internacional.

2.6 O relatório STERN

Conforme o relatório Stern (2006), a evolução não tem sido idêntica em todos os pontos do planeta, de acordo com a Figura 4. No decurso do século XX, a temperatura média à superfície aumentou 0.7°C, com a particularidade de, nas últimas três décadas, aquela variável ter registrado ganhos decenais de 0.2°C, o que se traduz no fato de atualmente se ter atingido o nível mais elevado registrado no presente período inter-glacial de 12 mil anos.

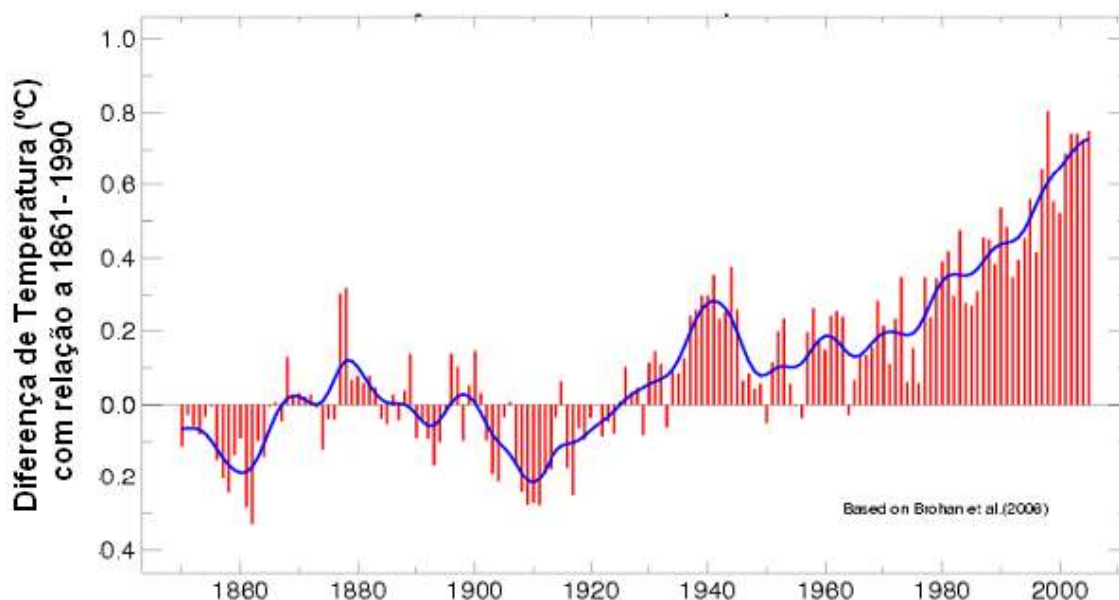


Figura 4: Temperaturas médias à superfície no período 1850-2000
 Fonte: baseado em Brohan et al. (2006, p. 5). Relatório Stern – Uma Síntese, 2007. p. 3.

Até 1750, a concentração de CO_2 na atmosfera do globo atingia 280 ppm, valor que, atualmente, é superior em 35%, sendo essa evolução acompanhada pelo aumento da concentração de outros gases nocivos, principalmente metano e NOX, que resulta na elevação da radiação de infra-vermelhos, captado pela atmosfera terrestre: o chamado “efeito de estufa”, principal responsável pelo processo de aquecimento global.

Entretanto, a complexidade envolvida pelo sistema climático, em que se registram elevados níveis de variabilidade “natural”, tem sustentado a discussão em torno da existência de uma causa isolada para o fenômeno em referência; porém, a explicação baseada nas causas antropogênicas (queima de hidrocarbonetos / desflorestação / alteração no uso dos solos) merece o acolhimento do Relatório em análise, que se baseia nas posições do IPCC (2007) e do Relatório Stern (2006).

Os trabalhos mais recentes realçam o risco que anda associado àquela variabilidade e a privilegiar os efeitos de retroação decorrentes da elevação da temperatura, da alteração dos padrões de pluviosidade e do crescente degelo das regiões árticas, apontando estimativas muito preliminares para um efeito positivo adicional nas temperaturas médias de cerca de 1°C a 2°C - isso no horizonte temporal de um

século.

O relatório Stern (2006) admite que o aquecimento global esteja amplificado pela ação de vetores, como o enfraquecimento dos sumidouros naturais (terrestres e marítimos) de carbono, da liberação de metano a partir de depósitos de turfa, de zonas pantanosas e ultra-geladas e, ainda, a partir dos consideráveis depósitos de hidratos de carbono.

Considerando essa nova vertente, conclui-se que, se as emissões se mantiverem no nível registrado atualmente, em meados do século XXI, a concentração dos GEEs alcançará o dobro do que se registra na atualidade, estimando-se que a manutenção de tais níveis se traduza em elevação das temperaturas médias de, pelo menos, 2°C a 5°C. É necessário salientar que os efeitos do aquecimento global tenderão a distribuir-se de forma desigual, devendo as regiões situadas nas maiores latitudes registrar elevados níveis de temperatura (+8°C), *i.e.*, o dobro da média global, enquanto o fenômeno designado por “ondas de calor” se acentuará, o que afetará intensamente os centros urbanos e o padrão das chuvas.

Um maior nível de evaporação e uma intensa precipitação resultarão em maiores riscos de secas e de inundações, sem esquecer a crescente gravidade dos furacões e de outras tempestades, ainda que aqui permaneçam incertezas quanto à localização e frequência de registros.

Segundo o IPCC TAR (2007), os fenômenos mencionados não esgotam os efeitos nocivos associados à mudança climática; deverão ainda ser afetadas as correntes marítimas do Atlântico, o que resultará em uma redução no nível do aquecimento na Europa e no leste do continente americano, e o aumento do nível do mar, cuja evolução é até aqui muito lenta (3 mm/ano), mas que deverá registrar aceleração e atingir, no ano de 2100, mais 9 cm a 88 cm.

Essa última evolução tem como causa imediata a expansão dos oceanos e da fusão dos glaciares, situação potencialmente catastrófica no longo prazo, no caso desse processo afetar irremediavelmente a Groenlândia e o Antártico, situação que até

aqui se colocou apenas no plano da vulnerabilidade. Segundo o Relatório STERN (2006), as evidências científicas são claras: as mudanças climáticas provocam grandes riscos globais.

A figura 5 mostra que os impactos envolvem várias dimensões e intensificam os riscos de elevação da temperatura. Muitos dos riscos são transmitidos através da água, inundações, secas, tempestades e elevação do nível do mar.

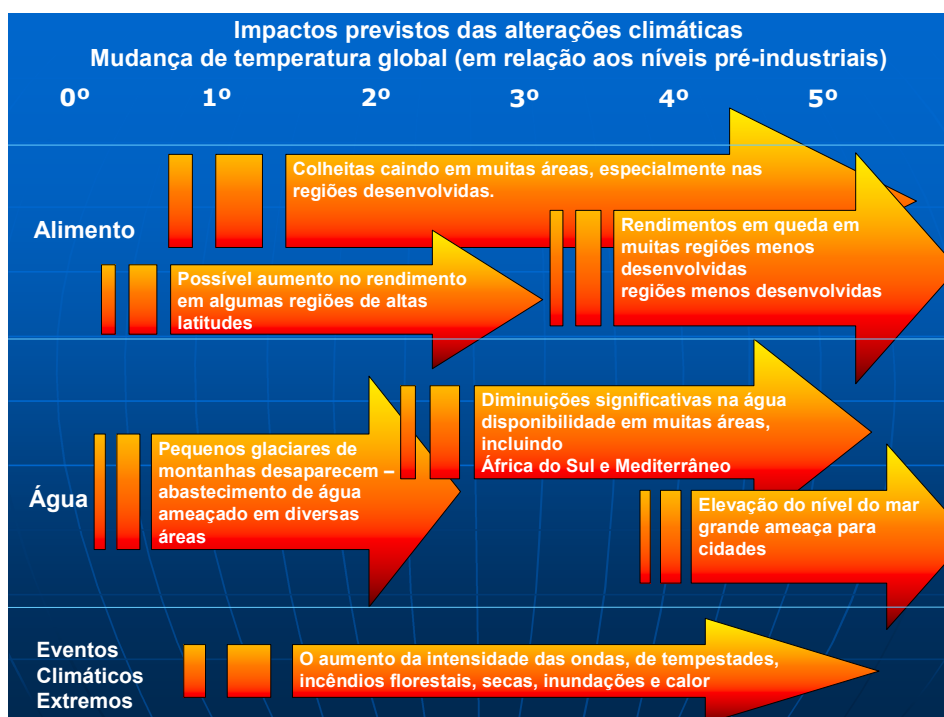


Figura 5: Relação entre a temperatura média global e os impactos das mudanças climáticas
Fonte: Relatório Stern – Uma síntese. p.27.

Na Figura 5, começa-se por olhar para a relação entre a temperatura e os impactos e, em seguida examina-se a ligação entre os gases com efeito de estufa e temperatura.

O modelo de desenvolvimento atual envolve um risco elevado, e é provável que provoque um aumento nas temperaturas de 4 a 5°C ou mais, acima dos níveis pré-industriais, dentro dos próximos 100 ou 150 anos. Conhece-se pouco sobre como o

clima irá responder. A última Idade do Gelo teve uma temperatura 5°C abaixo de onde está-se hoje - essas diferenças são transformacionais.

Conforme mostra a Figura 6, é evidente que os níveis de gases de efeito estufa aumentam a intervalos de deslocamento para a direita, ou seja, temperaturas mais elevadas. Na extremidade superior dos intervalos, o clima está entrando em território muito perigoso. Assim, a análise de risco deve incluir a possibilidade de efeitos poderosos.

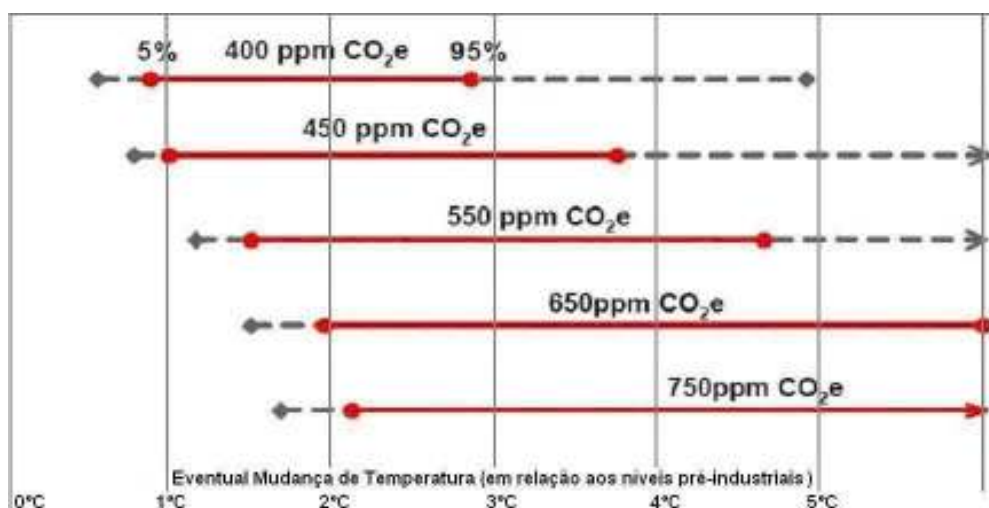


Figura 6: Compromisso com o aquecimento da estabilização em diferentes níveis de gases com efeito de estufa.

Fonte: Relatório Stern – Uma síntese. p.27.

2.6 Caminhos para Estabilização das Emissões

A busca para a estabilização é o grande desafio. A Figura 7 mostra os caminhos dos fluxos de emissões, que são necessários em gigatoneladas de CO₂ por ano.

Em 450ppm já está quase fora de alcance. 450ppm significa um pico nos próximos cinco anos ou mais e caindo rápido. Em 550ppm significa um pico nos próximos 10 - 20 anos e uma queda de entre 1 e 3% ao ano.

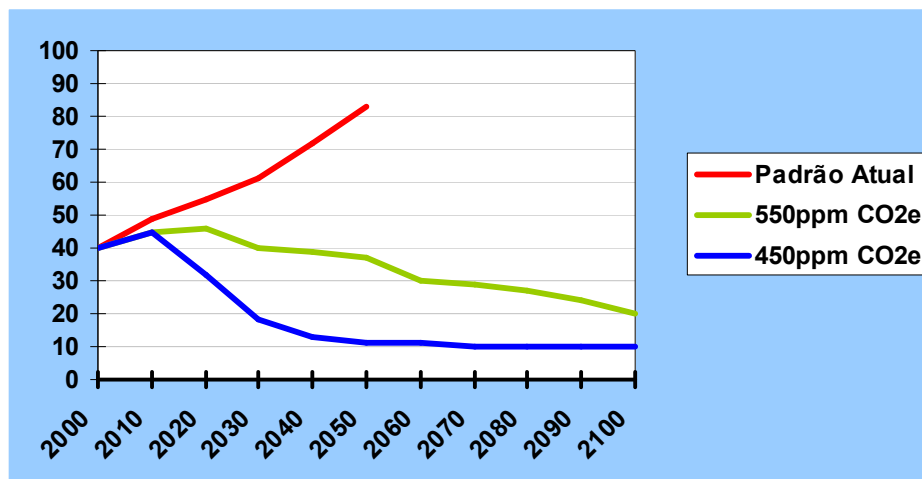


Figura 7: Emissões seguindo padrão atual de desenvolvimento do mundo (*Business as Usual*) e trajetórias de estabilização compreendidas entre 450-550 ppm
 Fonte: Relatório Stern – Uma Síntese, 2007, p. 19.

É evidente que a estabilização em 550 ppm ou menos exige uma ação forte. Por exemplo, os setores de energia ao redor do mundo terão de ter pelo menos 60% de redução de emissões até 2050, e com uma maior proporção de redução de emissões em países ricos. Essa estabilização é viável. Se a ação for adiada por 20 anos ou mais anos, a capacidade de estabilizar ou ficar abaixo de 550 ppm poderia escapar, ou os custos aumentariam consideravelmente.

O levantamento do relatório Stern (2006) indica um custo de cerca de 1% do Produto Interno Bruto (PIB) por ano para remoção da maior parte desse risco (a atmosfera atingir 550ppm de CO₂). O custo pode estar acima ou abaixo de 1%, dependendo da política do progresso tecnológico. Isso é equivalente a pagar, em média, 1% a mais para comprar o que se consume. Outra hipótese seria o aumento do preço dos bens fortes em carbono e as mercadorias de baixa intensidade de carbono teriam menor preço; dessa forma manteriam um aumento pontual de 1% no nível de preço. Pode-se ir mais longe do que isso: haverá novas oportunidades e novos mercados focados na mitigação, que é um negócio muito bom. Por outro lado, alguns negócios serão mais difíceis de serem mudados, principalmente os negócios muito rentáveis, entre eles as empresas petrolíferas.

Segundo levantamento da Revista Fortune de 20 julho de 2009, a lista das 500

maiores corporações do mundo em 2009, Figura 8, percebe-se a força do setor petrolífero. A empresa número 1 no mundo é uma empresa de petróleo, a segunda também e entre as 7 primeiras empresas 6 são do setor petrolífero. Diante desses dados, percebe-se a importância desse negócio. O lucro da número 1, a Shell, embora 16,1% menor que 2007, foi de US\$26,2 bilhões.

Tabela 1: Maiores corporações do mundo em 2009

FORTUNE Global 500 Classificação	Corporações	Receitas
		(US\$ milhões)
1	Royal Dutch Shell	458.361
2	Exxon Mobil	442.851
3	Wal-Mart Stores	405.607
4	BP	367.053
5	Chevron	263.159
6	Total	234.674
7	ConocoPhillips	230.764
8	ING Group	226.577
9	Sinopec	207.814
10	Toyota Motor	204.352

Fonte : Revista Fortune, 20 julho 2009.

A indústria de Petróleo foi o maior negócio do século passado e até a primeira metade do século XXI e tem muita chance de continuar. Assim, haverá por parte dessas corporações pouco interesse na redução de emissão de CO₂, pois isso implicará em redução de atividade e de lucros. Dessa forma, parece inevitável que o petróleo será utilizado até que as reservas estejam esgotadas. Levantamento realizado por *U.S. Energy Information Administration* (EIA) diz que o pico de produção mundial de petróleo deverá ocorrer em 2016; para o *Cambridge Energy Research Associates* (CERA), só após 2020, e a Shell estima que deverá ocorrer em 2025 ou depois. As atuais reservas provadas de petróleo no mundo, segundo a EIA, devem garantir os próximos 50 anos. Mega poços ainda não confirmados na faixa do Orinoco na Venezuela, na Rússia e no Canadá permitirão mais um século de exploração, e a descoberta do pré-sal no Brasil é um exemplo.

Sem uma alternativa mais barata que o petróleo e que não implique na redução de mobilidade, perdas de potência ou autonomia, não deverá haver redução de CO₂, ou seja, o mundo deverá continuar manter o “*business as usual*”.

2.7 O Clima do Presente

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*International Panel on Climate Change* - IPCC) divulgou, em fevereiro 2007, o Quarto Relatório de Avaliação das Mudanças no Clima do Planeta, chamado de IPCC-AR4.

O Relatório do IPCC demonstra, de forma conclusiva, os perigos do aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, resultantes da baixa capacidade dos países industrializados de reduzir suas emissões, bem como da resistência de alguns países em desenvolvimento em negociar a estabilização e até a diminuição de suas emissões.

Segundo o IPCC AR4, projeta-se um aumento de temperatura global entre 2°C a 4,5°C a mais do que os níveis registrados antes da Era Pré-Industrial. A estimativa mais certa fala em um aumento médio de 3°C, assumindo que níveis de dióxido de carbono se estabilizem a 45% acima da taxa atual. Essa estimativa é mais precisa do que a anterior, divulgada em 2001 (IPCC 2001). O terceiro relatório de avaliação do IPCC (IPCC TAR), publicado em 2001, projetava um crescimento de 1,4°C a 5,8°C para 2100.

Em relação às causas da mudança de clima, o IPCC AR4 afirma que é muito provável (até 90% de chance) que as atividades humanas, lideradas pela queima de combustível fóssil, estejam fazendo a atmosfera esquentar desde meados do século XX. O relatório de 2001 dizia que essa ligação era provável (66% de chances ou mais).

De acordo com Marengo (2007), a temperatura média global da superfície, incluindo os oceanos, aumentou, no século XX, aproximadamente $0,6^{\circ}\text{C}$, e 1998 foi o ano mais quente de todo o período observacional desde 1861. A década de 1990 foi a mais quente, desde que as primeiras medições começaram a ser feitas na década de 1860. Esse aumento nas décadas recentes corresponde ao aumento no uso de combustível fóssil durante este período. Até finais do século XX, o ano de 1998 foi o mais quente desde o início das observações meteorológicas, com $+0.54^{\circ}\text{C}$ acima da média histórica de 1961-90. Os dez anos mais quentes da história estão todos concentrados no período de 1994 até 2006, com recordes em 1998 (o mais quente) e 2005 (o segundo mais quente). O ano de 2003 foi o terceiro mais quente ($+0.44^{\circ}\text{C}$ acima do normal).

Os últimos 11 anos, 1995-2006 (com exceção de 1996), estão entre os mais quentes no período instrumental. Segundo os dados, a Terra está se aquecendo mais no hemisfério norte. Já no século XXI, a temperatura do ar no globo em 2005 foi de $+0.48^{\circ}\text{C}$ acima da média, sendo esse o segundo ano mais quente do período observacional, como afirma a *Climate Research Unit* da Universidade de East Anglia, Reino Unido.

Têm-se observado tendências positivas sobre eventos extremos na frequência de noites e dias quentes e tendências negativas na frequência de noites e dias frios, consistentes com um cenário de aquecimento global.

2.8 Eventos Extremos

No que concerne a eventos extremos, o Relatório 1, Marengo (2007) afirma que são totalmente atípicos; o destaque dos últimos anos foi indiscutivelmente o furacão “Catarina”, possivelmente o primeiro furacão do Atlântico Sul, que pegou de surpresa moradores do sul do Brasil em março de 2004. Para o Atlântico Sul, não há estatísticas confiáveis sobre esses fenômenos extremos que cubram um longo período de séculos, além do período de observações por satélites, que poderiam

detectar outros fenômenos similares.

Portanto, segundo Marengo (2007), não se pode afirmar com absoluta certeza que o furacão Catarina foi o primeiro evento desse gênero no Atlântico Sul, mas certamente nada comparável aconteceu nos últimos 50 anos e não há registros na história brasileira de fenômeno tão intenso na costa sul do Brasil.

Projeções climáticas dos modelos do *Hadley Centre UK*, Figura 8, e do *Earth Simulator* do Japão têm indicado condições mais favoráveis para o desenvolvimento de furacões no Atlântico Sul em cenários de aquecimento global mais pessimista, pois esses modelos já apresentam condições favoráveis para desenvolvimento de furacões no Atlântico Sul no clima presente.

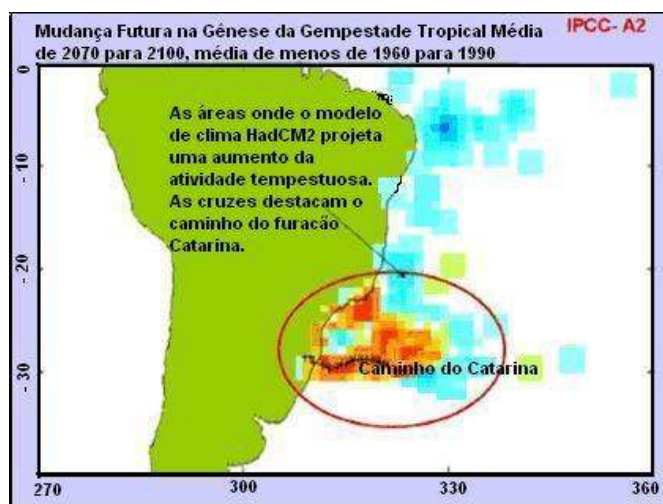


Figura 8: Projeções climáticas para o futuro (2071-2100) do modelo HadCM2 do *Hadley Centre* do Reino Unido mostrando áreas com condições mais favoráveis para desenvolvimento de furacões no Atlântico Sul, em cenários de aquecimento globais mais pessimistas A2

Fonte: Hadley Centre, UK.

No interior de São Paulo, a ocorrência de tornados começa a ser mais freqüente. Em 2008, foi registrada uma forte tempestade e um pequeno tornado na cidade de Lins, São Paulo. Em Janeiro de 2010, ocorreu evento semelhante em São José dos Campos, São Paulo. Em 2005, no município de Indaiatuba, na região de Campinas, São Paulo, foi devastada por um tornado classificação F3, o que representa ventos entre 251 km/h e 330 km/h. Ao todo, cerca de quinze cidades da região de

Campinas (SP) foram atingidas pelo forte temporal. A prefeitura da cidade decretou estado de calamidade pública e estima os prejuízos em R\$ 97,2 milhões. Indústrias, prédios municipais e ao menos 400 casas foram destruídas.

Outros prejuízos são percebidos nos canaviais onde os fortes ventos derrubam a cana no chão, o que dificulta a colheita e ainda aumenta as impurezas, que, por sua vez, aumenta custos industriais e reduz a produção.



Figura 9: Tornados no interior de São Paulo
Fonte: Concessionária Colinas



Figura 10: Tornados no interior de São Paulo

Fonte: Câmera de vídeo da concessionária Colinas, instalada no km 47 da rodovia Santos Dumont (SP-75).

2.9 O Clima do Futuro no Brasil

Segundo Marengo (2007), uma análise das evidências observacionais integradas para o território brasileiro aponta para um aumento das temperaturas médias e extremas no Brasil, tanto para valores anuais quanto sazonais.

Para o Brasil, a temperatura média aumentou aproximadamente $0,75^{\circ}\text{C}$ até o final do século XX, considerando a média anual 1961-90 de $24,9^{\circ}\text{C}$, e sendo o ano mais quente no Brasil o ano de 1998 (aumento de até $0,95^{\circ}\text{C}$ em relação à normal climatológica de $24,9^{\circ}\text{C}$). Segundo Mesquita (2005), nos últimos 50 anos, foi observada uma tendência na costa brasileira de um aumento do nível do mar, da ordem de 40 cm / século.

Conforme o Relatório 1 - Marengo (2007), o Brasil é o 4º país no ranking dos que

mais liberam gases causadores do efeito estufa devido às alterações dos usos da terra (desmatamento e queimadas), que respondem por 75% das emissões brasileiras. Além disso, mais de 600 mil km² de área de floresta tropical já foram desmatadas. Porém, essas alterações parecem ainda não ter afetado o regime de chuvas na região, nem reduzido ou aumentado gradativamente os valores anuais e sazonais de chuvas no longo prazo.

Em relação às vazões dos rios, segundo Marengo (2007), as tendências observadas refletem bem as tendências de maior precipitação, com previsão de aumento nas vazões do Rio Paraná e outros rios no Sudeste.

As análises de vazões de rios na América do Sul e no Brasil, conforme Relatório 1, Marengo (2007), apontam para aumentos entre 2 % e 30% na bacia do Rio Paraná e nas regiões vizinhas, no sudeste da América do Sul, consistente com as análises de tendência de chuva na região. Algumas das vazões no Brasil apresentam altas correlações com os campos de anomalias de temperatura de superfície do mar nos oceanos Pacífico e Atlântico Tropical, o que sugere uma possível relação entre vazões extremas e El Niño ou o aquecimento no Atlântico Norte Tropical.

O Relatório 1, de Marengo (2007), mostra tendências positivas de noites quentes no Sudeste do Brasil, que vão de 5% na década de 1950 até quase 35% no início do século XXI.

Notou-se a tendência de dias frios, que apresentou frequência de 25-30% na década de 1970, chegando até 5-10% em 2001-2002. Isso é consistente com tendências positivas de grande magnitude nas temperaturas mínimas e em menor grau das temperaturas máximas no Brasil, conforme Marengo (2007).

Marengo (2007) concluiu que, no Brasil, as tendências positivas de extremos de chuva aparecem mais intensamente nos estados de São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul. Os estudos já identificaram tendências crescentes no número de dias com chuva intensa e concentrada em curto tempo - Figura 11. Essa quantidade de chuva concentrada em eventos chuvosos são indicadores de chuvas que

produzem enchentes.

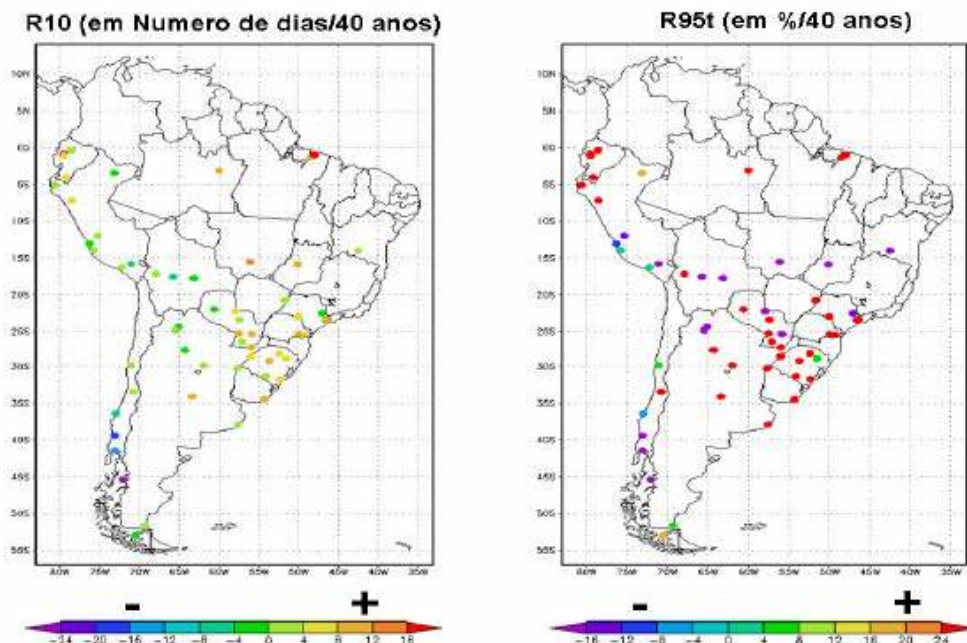


Figura 11: Tendência de episódios de chuva intensa definidos pelo índice R10 (número de dias com mais de 10 mm) e pelo índice de extremos de chuva intensa definido pelo índice R95t (fração total de precipitação devido a eventos de chuva acima do percentil de 95th), para o período de 1961-2000. Fonte: Marengo et. al., 2007, p. 23.

Segundo Marengo (2007), essas tendências sugerem aumento e intensidade na frequência e intensidade de eventos de chuva no sudeste da América do Sul, enquanto que a ausência de dados na região tropical não permite uma análise mais abrangente dos extremos nessa parte do continente.

O Relatório 5 de Marengo (2007) destaca que as projeções climáticas feitas para a segunda metade do século XXI (período 2071-2100) consideram os cenários extremos de altas emissões (A2) e de baixas emissões (B2), que foram usadas para o IPCC TAR. Somente as análises de extremos de clima usam as projeções geradas que fazem parte do IPCC AR4.

Para Marengo 5 (2007), as projeções de aumento da temperatura média no ar à superfície para o Brasil indicam que os valores podem chegar até 4°C acima da média climatológica (1961-90) para 2100, dependendo no cenário de emissão de

gases de efeito estufa e dos modelos climáticos globais dos IPCC TAR. Os aumentos de temperatura projetados apresentam considerável variação regional. Por exemplo, na Amazônia, o aquecimento pode chegar até 8°C no cenário mais pessimista.

Com base em uma média de 6 modelos climáticos globais do IPCC TAR, a temperatura média do ar para o Brasil, em 2100, pode aumentar até 28,9°C para o cenário de altas emissões A2 e até 26,3°C para o cenário de baixas emissões B2, considerando a média de 1961-90 de 25°C. Isso corresponderia a um aquecimento de 3,8°C para o cenário de altas emissões e de 1,3°C para o cenário de baixas emissões, conforme mostra a Figura 12.

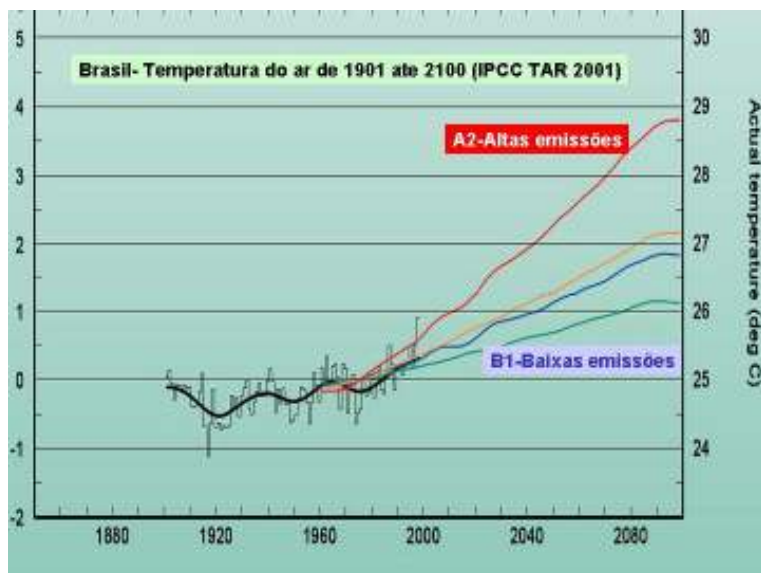


Figura 12: Projeções de temperatura média anual para o Brasil para vários cenários de emissões e tomando a média de seis modelos climáticos globais.

NOTA: A linha preta representa observações, e as linhas coloridas representam médias móveis (11 anos) para os diferentes cenários, em relação à média de 1961-90.

Fonte: Hulme e Sheard, 1999.

As projeções, derivadas dos modelos globais de IPCC TAR e AR4 de mudança nos regimes e distribuição de chuva, para climas mais quentes no futuro, não são conclusivas, e as dúvidas ainda são grandes, pois dependem dos modelos e das regiões consideradas. Na Amazônia e Nordeste, ainda que alguns modelos climáticos globais apresentem reduções drásticas de precipitações, outros modelos

apresentam aumento. A média de todos os modelos, segundo Marengo (2007), é indicativa de maior probabilidade de redução de chuva nessas regiões como consequência do aquecimento global. Sul, Sudeste e Centro-Oeste não mostram mudanças perceptíveis, ou certo aumento até finais do século XX, mas as chuvas poderiam ser mais intensas.

Para Marengo (2007), existem incertezas nas tendências observadas da variabilidade de extremos de clima no Brasil, excetuando, talvez, a região Sul, devido, fundamentalmente, à falta de informação confiável de longo prazo ou ao acesso restrito a esse tipo de informação para grandes regiões, como, por exemplo, Amazônia e Pantanal. As projeções de extremos para a segunda metade do século XXI mostram, em geral, aumentos nos extremos de temperatura, como noites mais quentes, ondas de calor, e nos indicadores de eventos extremos de chuva.

Considerando a análise dos modelos globais do IPCC AR4, para o presente e para o futuro, e no contexto das análises observacionais já detalhadas no Relatório 5 (Marengo *et. al.* 2007), os modelos de IPCC AR4 mostram, para o futuro, tendências positivas no índice de noites quentes em todo o continente, o que já tem sido observado nos últimos 40 ou 50 anos para algumas regiões de América do Sul e do Brasil, e constituindo uma continuidade das tendências observadas no presente, ainda que mais intensas. No caso da chuva intensa no presente, as tendências do índice R10 são positivas na Bacia do Prata e Nordeste, e negativas no sul do Nordeste e norte da Amazônia.

As observações realizadas por Marengo (2007) mostram que, para o sudeste da América do Sul, os modelos para o clima do presente simulam bem as tendências observadas de aumento de chuvas intensas, representadas pelo índice R10, e as tendências futuras têm um alto grau de certeza para essa região da América do Sul ao sul de 20 S. Porém, para a região tropical, a falta de observações não permite validar as tendências simuladas pelos modelos no clima do presente para o índice R10; assim, para a região tropical, as incertezas nas projeções de extremos de chuva ainda são altas.

Segundo Marengo (2007), as projeções climáticas para a segunda metade do século XXI, para os cenários extremos A2 e B2, fornecem mais detalhes sobre a distribuição e intensidade nas mudanças da temperatura e precipitação no Brasil e América do Sul. As incertezas ainda são grandes, pois a diferença com as análises dos modelos globais de IPCC TAR e AR4 foi usado somente um modelo global e três modelos regionais para o *downscaling* dos cenários climáticos futuros.

A Tabela 2 apresenta a média das taxas de aquecimento em 2100 dos 6 modelos do IPCC TAR para cada região do país considerada no estudo.

Tabela 2: Aumento de temperatura do ar (°C) em 2100 representado pela média de 6 modelos climáticos globais do IPCC TAR para dois cenários de emissões (A2- pessimista e B2-otimista) e para cada região do país considerada no estudo.

Região	A2	B2
Amazônia	+5,3	+3,0
Nordeste	+4,0	+2,2
Pantanal	+4,6	+3,4
Sul-Bacia do Prata	+3,5	+2,3

Na Figura 13, as projeções realizadas por Marengo (2007) anunciam médias para o período 2071-2100 para Amazônia que variam de 4-8°C para o cenário de altas emissões (pessimista) A2 e 3-5°C para o cenário de baixas emissões (otimista) B2, com grande variação espacial. Para o Nordeste, o aquecimento pode chegar a 4°C no cenário pessimista A2 e a 2-3°C no cenário otimista B2. No cenário A2, o aquecimento no centro oeste e sudeste podem chegar a 4-6°C, enquanto o cenário B2 apresenta valores até 2-3°C.

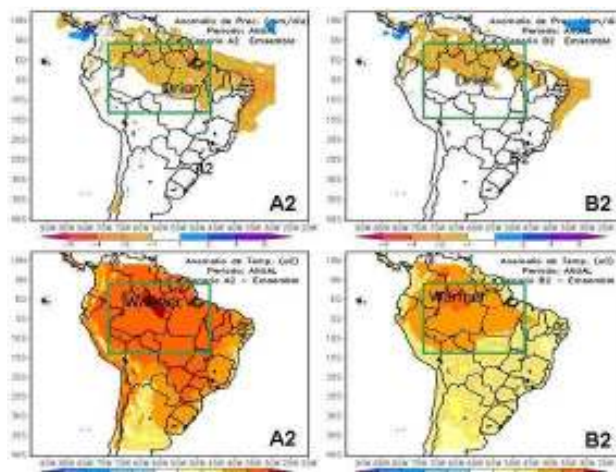


Figura 13: Anomalias anuais de chuva (painel superior, em mm/dia) e temperatura (painel inferior, em °C) para América do Sul, período 2071-2100 em relação a 1961-90, para os cenários IPCC A2 (pessimista) e IPCC B2 (Otimista).

NOTA: As projeções representam a média aritmética dos cenários produzidos pelos modelos regionais Eta / CPTEC, RegCM3 e HadRM3P (50 km de resolução).

Fonte: Ambrizzi et AL, 2007.

O Relatório 4, Marengo (2007), explica que o cenário A2 sugere aquecimento da ordem de 3-4°C no cenário A2 e até 2-3°C no cenário B2. Ainda que o aquecimento seja maior na região tropical da América do Sul para os vários modelos regionais utilizados, as projeções desses modelos diferem sobre onde se dá o maior aquecimento.

2.10 Possíveis Impactos das Mudanças Climáticas no Brasil

Poucos estudos foram feitos, no Brasil, sobre o reflexo das mudanças climáticas e seus impactos na agricultura. Uma primeira tentativa de identificar o impacto das mudanças do clima na produção regional foi feita por Pinto *et al.* (1989 e 2001), em que foram simulados os efeitos das elevações das temperaturas e das chuvas no zoneamento do café para os estados de São Paulo e Goiás. Observou-se uma drástica redução nas áreas com aptidão agroclimática, condenando a produção de café nestas regiões.

De acordo com as conclusões do IPCC (2001), procurando avaliar o efeito da variação das temperaturas sobre a agricultura nos próximos 100 anos, Pinto *et al.* (1999) tomaram como exemplo a cultura do café no estado de São Paulo.

De acordo com Marengo (2007), as recentes mudanças climáticas, especialmente o aumento da temperatura, já estão afetando globalmente sistemas físicos (clima, recursos hídricos, nível do mar), biológicos (ecossistemas naturais, distribuição de espécies), assim como a sociedade (saúde humana, disponibilidade hídrica, transporte fluvial, desastres naturais). Existem indicadores preliminares de que alguns sistemas humanos já têm sido afetados por secas e enchentes. Os sistemas biológicos são vulneráveis a mudanças climáticas, e alguns serão prejudicados irreversivelmente.

De modo geral, para Marengo (2007), os impactos das mudanças climáticas vão depender da área afetada e do cenário de emissões considerado, mas os impactos maiores seriam aqueles dos cenários mais pessimistas (por exemplo, o cenário A2) em relação a cenários de mais baixas emissões (por exemplo, o cenário B2). Um sumário, feito por Marengo (2007), das projeções de mudanças de temperaturas e chuvas e os possíveis impactos esperados dessas mudanças nas regiões do Brasil são mostrados na Figura 14. Por exemplo, na Amazônia poderá haver uma elevação de temperatura em até 8°C e redução no volume de chuva em 20%, caso se confirme o cenário mais pessimista. No cenário mais otimista, a temperatura pode subir cerca de 5°C até 2100.

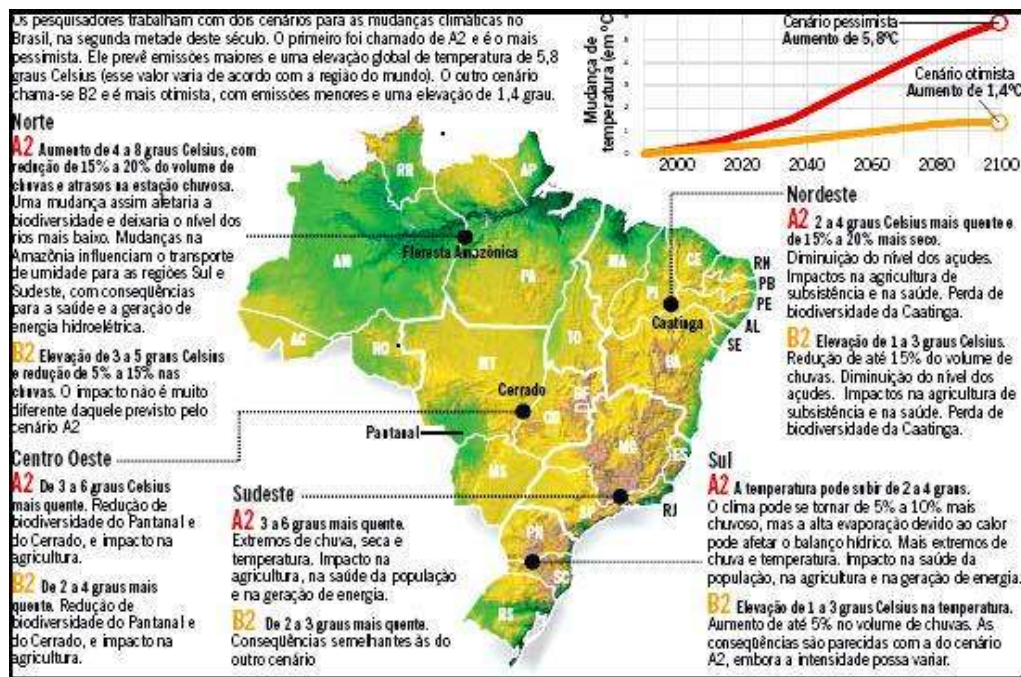


Figura 14: Projeções de mudanças de temperatura e chuva para o Brasil para o final do Século XXI, assim como impactos esperados

NOTA: Os cenários considerados são A2 (altas emissões) e B2 (baixas emissões). O mapa foi elaborado pelo departamento de arte do jornal O Globo (28 de Novembro de 2006) com base nos resultados iniciais dos projetos PROBIO e GOF UK.

Fonte: Marengo et al., 2007.

Com o aquecimento global, conforme o Relatório Marengo (2007), algumas regiões do Brasil e da América do Sul terão seus índices de temperatura e chuvas elevados, e outras, diminuídos. As mudanças acarretarão chuvas isoladas, temporais frequentes e mais violentos. O consenso é maior em relação a extremos da temperatura, em que a tendência de elevação nas temperaturas diurnas e noturnas será mais intensa no inverno.

Segundo Marengo (2007), a mudança climática poderá alterar a estrutura e funcionamento dos ecossistemas, com a conseqüente perda de biodiversidade e de recursos naturais, ainda mais quando se soma sinergicamente às mudanças climáticas os efeitos das alterações da cobertura de vegetação, especialmente os desmatamentos.

Para Marengo (2007), alterações das rotas migratórias e mudanças nos padrões

reprodutivos são alguns desses efeitos. Teme-se que a capacidade de absorção de carbono das florestas tropicais, muito sensíveis às mudanças climáticas, diminua com o tempo, e que elas deixem de funcionar como eliminadores de carbono e passem a ser fonte de emissão desse gás. No pior cenário, a Amazônia pode virar cerrado até o final do século XXI, devido ao aumento na concentração de gases de efeito estufa.

2.11 Energia Limpa

Buckeridge (2004) explica que a cana-de-açúcar produz energia limpa (pelo menos em grande parte) e, teoricamente, poderia amenizar alguns dos efeitos do aquecimento global. Se a cana tiver mesmo esse potencial, ele estaria relacionado a uma diminuição das emissões e combustíveis fósseis e no potencial de seqüestro de carbono.

Para Buckeridge (2004), ao utilizar o etanol de cana-de-açúcar como combustível, deixa-se de queimar petróleo que foi tirado das profundezas da terra. Isso ocorre porque o carbono das moléculas no petróleo está no subsolo há milhões de anos. O carbono emitido em forma de gás carbônico (CO_2) através da queima de etanol de cana é um carbono que havia sido previamente absorvido pelas plantas de cana alguns meses antes. Através da fotossíntese, o CO_2 é assimilado pelas folhas das plantas, que o incorpora primeiramente na forma de sacarose (o mesmo açúcar usado no dia-a-dia), que depois pode ser transformada em amido (como o do pão, macarrão e arroz) e também na forma de celulose (principal componente da madeira). O metabolismo das plantas é equilibrado entre essas diferentes formas de armazenamento de carbono e, à medida que crescem, usam a sacarose e o amido para a produção de mais celulose.

A concentração atmosférica de CO_2 na Europa, no final do século XVIII e XIX, antes da Revolução Industrial e, no Brasil, no início do século XX, era de 0,028% do ar atmosférico. A concentração foi aumentando com o uso intenso de combustíveis

fósseis, e, atualmente, são de 0,038% do ar. Aparentemente é pouco, mas, como o CO₂ é um dos gases responsáveis pelo efeito estufa, ele promove uma elevação de temperatura na atmosfera. Para amenizar esses efeitos, uma das soluções possíveis é aumentar o que chama-se de seqüestro de carbono.

O conceito de “Seqüestro de Carbono” foi consagrado pela Conferência de Kyoto, em 1997, e se refere à absorção de grandes quantidades de gás carbônico (CO₂) presentes na atmosfera. A forma mais comum de seqüestro de carbono é naturalmente realizada pelas florestas que armazenam carbono por um longo período em uma forma não-gasosa na madeira.

Na fase de crescimento, as árvores demandam uma quantidade muito grande de carbono para se desenvolver e acabam tirando esse elemento do ar que permanece armazenado na celulose e só será liberado novamente para atmosfera quando a planta morrer e a madeira apodrecer ou for queimada. Esse processo natural ajuda a diminuir consideravelmente a quantidade de CO₂ na atmosfera.

Bukeridge (2004) confirmou que, para que o seqüestro de carbono seja significativo, é necessário que o ele fique armazenado por um período longo o suficiente para que a emissão do gás para a atmosfera diminua, evitando o aumento da temperatura e o aquecimento global. O termo que tem sido usado para esse processo é mitigação. Assim, poder-se-ia dizer que o uso de etanol como combustível seria capaz de mitigar os efeitos do aquecimento global, ou seja, diminuir seu impacto futuro.

Em um primeiro momento, a importância da cana em termos de seqüestro de carbono parece ser insignificante, não chegando a um milésimo do que se emite de carbono ao queimar a Amazônia. Mesmo sabendo-se que a cultura da cana poderá se beneficiar com o aumento do gás carbônico na atmosfera e, com isso, aumentar a biomassa em até 50%, o potencial de seqüestro de carbono da planta não chegará sequer a arranhar o potencial das florestas tropicais.

Em 100 anos, estimativas indicam que a produção de cana poderia suprir apenas cerca de 0,1% do total de carbono armazenado por um mero aumento de 10% nas

florestas brasileiras.

Debeux e Margulis (2010) apontam que:

A ciência e a arte do tomador de decisão estão em saber identificar e pôr em prática, com o apoio no melhor conhecimento possível, aquelas opções de políticas que sacrifiquem o mínimo possível de recursos futuros e ao mesmo tempo produzam um máximo de benefícios, com ou sem mudanças climáticas. (AGÊNCIA FAPESP, 2010).

Os estudos internacionais têm focado suas pesquisas e sua atenção nas emissões de gases de efeito estufa provenientes da cultura da cana.

Os fertilizantes nitrogenados têm um papel importante no balanço ambiental, já que liberam óxido nitroso (N_2O), que é um gás considerado 300 vezes mais potente que o gás carbono na contribuição do efeito estufa. Pesquisas indicam que 1% do fertilizante empregado nas lavouras acaba se dispersando na atmosfera em forma de gás.

Esse valor, no entanto, gera muita polêmica e algumas pesquisas chegaram a dados alarmantes.

Lembrando que o valor foi considerado exagerado por outras avaliações, disse Cantarella (2010), “houve até um estudo que apontou a proporção de 4% de gás liberado por nitrogênio aplicado, uma quantidade tão alta que ameaçaria as vantagens do etanol como mitigador do efeito estufa” (AGÊNCIA FAPESP, 2010).

Para melhorar esse aspecto, pesquisas no Brasil procuram desenvolver bactérias fixadoras de nitrogênio. Segundo Cantarella (2010), “ainda não sabemos se os microrganismos vão substituir parte substancial da adubação nitrogenada nem a sua eficiência, mas é um potencial interessante.” (AGÊNCIA FAPESP, 2010).

O mais abundante gás causador do efeito estufa, o dióxido de carbono (CO_2), também está sendo considerado na avaliação ambiental da cana. Há mais carbono na camada superficial do solo do planeta do que na atmosfera e, com isso, qualquer

atividade de manejo do solo tem um potencial de liberação de CO₂.

Cantarella (2010) apontou que a cana-de-açúcar apresenta vantagens nessa questão em relação a outras culturas. “a estrutura da planta é favorável nesse sentido, pois concentra a parte seca e mais rica em carbono na parte inferior e na raiz do vegetal, o que mantém o CO₂ sob o solo.” (AGÊNCIA FAPESP, 2010).

Cantarella (2010) explicou que, como a cana produz grande quantidade de matéria seca, parte desse material retorna ao solo repondo carbono. A colheita da cana crua, sem a queima, eleva ainda mais a devolução desse elemento ao solo e pode, inclusive, aumentar o teor de carbono na terra e, com isso, eventualmente, mitigar o efeito estufa.

Portanto, conforme mostram os estudos, o potencial mais importante da cana-de-açúcar não é o seqüestro de carbono para mitigar os efeitos do aquecimento global; ela tem outros atributos mais importantes, que estão na produção de combustível limpo.

2.12 A eficiência da Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma das gramíneas tropicais mais importantes do mundo para a produção de alimentos.

Souza, A. P. (2007) afirma que estudos sobre o efeito do alto CO₂ no desenvolvimento de diversas espécies vegetais já foram realizados, porém poucos com espécies de gramíneas tropicais do tipo C4, como é o caso da cana-de-açúcar. Considerando a importância econômica da cana e seu potencial na obtenção de bicomcombustíveis, é importante saber como essa cultura irá responder ao aumento previsto na concentração de CO₂ na atmosfera.

Foram estudados os efeitos do aumento de CO₂ na fotossíntese, seu

desenvolvimento e como é o processo de metabolização dos carboidratos (*Saccharum ssp.*).

Nesses estudos, as plantas foram cultivadas em ambiente (~ 370 ppm) e elevada (~ 720 ppm) [CO₂] durante 50 semanas, em câmaras de topo aberto.

Segundo Souza (2007), estudos realizados comprovam que as plantas cultivadas em elevado índice de CO₂ mostraram, no final desse período, um aumento de cerca de 30% na fotossíntese e 17% em altura, e acumulou 40% mais biomassa em comparação com as plantas cultivadas em ambiente normal de CO₂. Essas plantas também apresentaram menor condutância estomática e transpiração, (taxas -37 e -32%, respectivamente). Análises feitas na produtividade industrial apresentaram um aumento de cerca de 29% no teor de sacarose.

Esses dados sugerem que há um aumento na produtividade da cultura da cana com elevado índice de CO₂, e que pode estar relacionado, como já observado para o milho e sorgo, Figura 15.

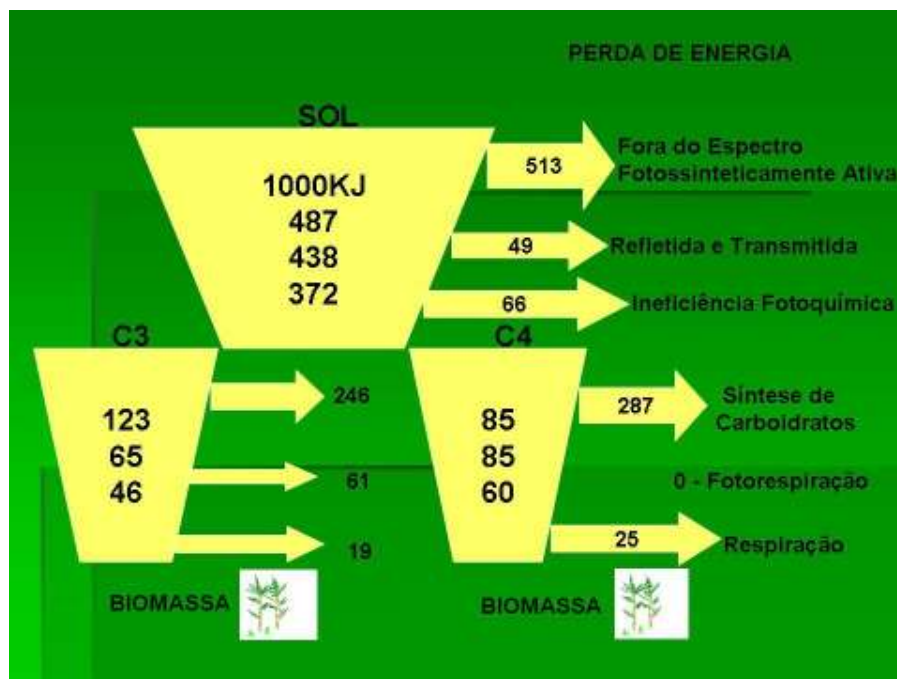


Figura 15: Perdas de energia mínima calculado para 1000h de radiação solar incidente em cada etapa distinta do processo fotossintético das plantas, interceptação da radiação para a formação de energia química armazenada na biomassa.

NOTA: Ambos C3 e C4 (NADP-enzima málica Type) fotossíntese são considerados. Cálculos assumem uma temperatura foliar de 30°C e CO₂ atmosférica de 380ppm. O teórico da eficiência da conversão fotossintética de energia máxima é de 4,6% para 6% C3 e C4 plantas, calculado com base na energia solar e inicial total da energia final armazenada na biomassa. As setas indicam a quantidade de perdas de energia em diferentes processos.

Fonte: Zhu, Long *et al.*, 2008. p. 155.

Em estudos da gramínea C4 cultivada em elevado índice de CO₂, Ziska e Bunce (1997) relataram um aumento de 3-25% no crescimento e 4-30% na estimulação da fotossíntese. Wand *et al.* (1999) realizaram uma revisão da literatura de meta-análise com gramíneas selvagens, e demonstraram que as espécies C3 e C4 tiveram um aumento significativo de biomassa em elevados índices de CO₂ em 33 e 44%, respectivamente. Maroco, Edwards e Ku (1999) mostram que plantas de milho cultivadas em um ambiente com nível triplo CO₂ acumularam 20% mais biomassa e 23% mais região foliar.

Além do mais, o sorgo cultivado sob enriquecimento de carbono livre-ar (FACE) exibiu um aumento de fotossíntese em folhas jovens com alto CO₂, conforme Cousins *et al* (2001).

No entanto, segundo Ottman *et al.* (2001) e Leakev *et al.* (2006), as gramíneas como o sorgo e o milho respondem a CO₂ elevado apenas quando submetidos a condições de estresse de seca.

As disponibilidades dos nutrientes também podem influenciar o crescimento de gramíneas C4 com elevado índice de CO₂, segundo Cousins e Bloom (2003) e Tang, Chen e Chen (2006).

Stefeson *et al.* (2007), observaram que a produção de matéria seca de colmos aumentou com o passar dos anos. Isso pode decorrer em função do aumento previsto da concentração de CO₂, que atualmente é de 360 ppm e poderá atingir a cifra de aproximadamente 1000 ppm no ano de 2099. O aumento da concentração de CO₂ na atmosfera poderá ocasionar o aumento da temperatura, devido ao efeito estufa provocado pelo gás, e há possibilidade da cultura da cana-de-açúcar ser expandida para regiões em que, na atualidade, a produção está inviabilizada em função de temperaturas baixas que inibem um bom crescimento da cultura.

Melo *et al.* (2007) defendem que esse aumento da temperatura também proporcionará alguns efeitos benéficos como o plantio da cana-de-açúcar em outras regiões e um aumento na produtividade, visto que a temperatura do ar estará mais próxima aos valores ideais para a cultura.

Quanto ao acúmulo de graus dias durante o período compreendido entre os anos de 2000 a 2099, observou-se que houve um incremento com o passar dos anos (Figura 16). Desse modo, pode-se dizer que haverá aquecimento da atmosfera no decorrer dos anos, principalmente por elevar a média de temperatura mínima, efeito que pode ser ocasionado pelo maior acúmulo de CO₂. Assim, a cana-de-açúcar poderá reduzir o ciclo produtivo e ser colhida em um período menor do que o efetuado nos dias atuais.

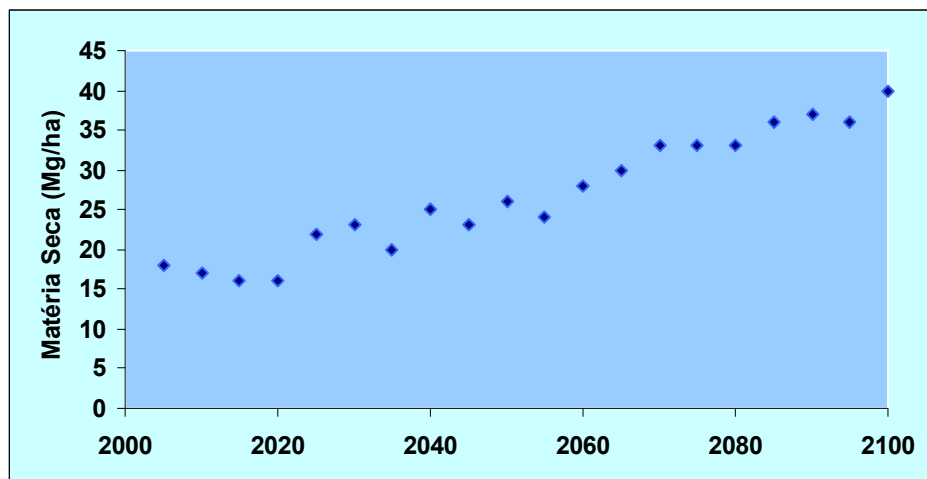


Figura 16: Produção de matéria seca de colmos de cana-de-açúcar por hectare no período compreendido entre 2000 a 2099, para a cidade de Barretos – SP, considerando o ciclo de um ano e o plantio realizado em outubro

Fonte: Revista Caatinga, outubro/dezembro 2007.

Segundo Schaeffer *et al.* (2008), os dois cenários de emissões do IPCC representam diferentes trajetórias de desenvolvimento econômico e energético. Descrevem futuros divergentes para tentar cobrir uma parte significativa das incertezas fundamentais envolvidas nas principais variáveis que determinam as emissões de gases do efeito estufa.

2.13 A importância do CO₂

Buckeridge (2009) é pioneiro em experimentos sobre a resposta das plantas às mudanças climáticas e às emissões de CO₂.

As plantas possuem, em suas células, dois sistemas ligados à fotossíntese: um deles captura a luz e o outro é responsável pelas reações bioquímicas, conforme apontou Buckeridge (2009).

Esses sistemas estão conectados. Fizemos experimentos que submetiam as plantas a um alto fluxo de dióxido de carbono e, para nossa surpresa, a maior presença do carbono aumentou a captura de

luz. Mas não sabemos como isso ocorre. (AGÊNCIA FAPESP, 2009)

Mamedov (2009) apresentou resultados de estudos sobre os dois sistemas fotossintéticos e sugeriu algumas hipóteses para o melhor funcionamento do complexo sob o fluxo aumentado de CO_2 :

Nossas pesquisas sobre a dinâmica da membrana tilacóide membrana interna dos cloroplastos da planta mostram que, talvez, a presença de um carbonato possa explicar o aumento da velocidade da fotossíntese quando há elevação do carbono no ambiente. (AGÊNCIA FAPESP, 2009).

A Figura 17 mostra como a eficiência da conversão varia de 15-45°C e em diferentes níveis de CO_2 que representam a média das condições do Pleistoceno (220 ppm), a corrente (380 ppm) e níveis previstos para 2100 (700 ppm) [15,16].

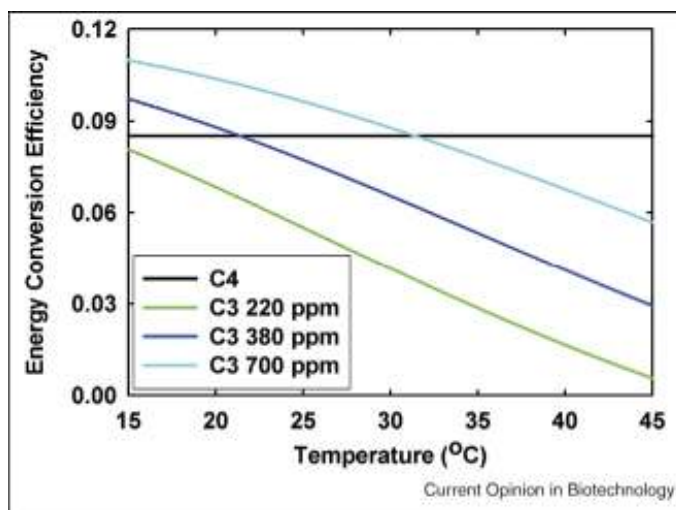


Figura 17: Os efeitos da temperatura e do CO_2 sobre a eficiência de conversão de energia de fotossíntese C3 e C4 para o passado, presente e futuro condições atmosféricas

NOTA: Foram utilizadas três concentrações de CO_2 , isto é, 220, 380 e 700 ppm, que correspondem à média CO_2 do passado, atuais e projetados para o ano de 2100. A O_2 concentração foi de 21% em todos os casos. Temperatura influencia tanto a solubilidade de CO_2 e O_2 em solução, bem como a especificidade da Rubisco de CO_2 em relação ao O_2 , que juntos, a diminuição da unidade de energia eficiência de conversão com o aumento da temperatura. Porque esta perda é dependente temperatura e da atmosfera (CO_2) Estas simulações mostram uma vantagem muito forte para a fotossíntese C4 atmosférica CO_2 prevaleceu durante a maior parte dos últimos 25 anos.

Fonte: Zhu, Long and Ort, 2008, Maximum efficiency photosynthesis Current Opinion in Biotechnology.

Os resultados na Figura 17 mostram uma vantagem muito forte para a fotossíntese da C₄, pois a eficiência de conversão de energia não é alterada com o aumento de temperatura.

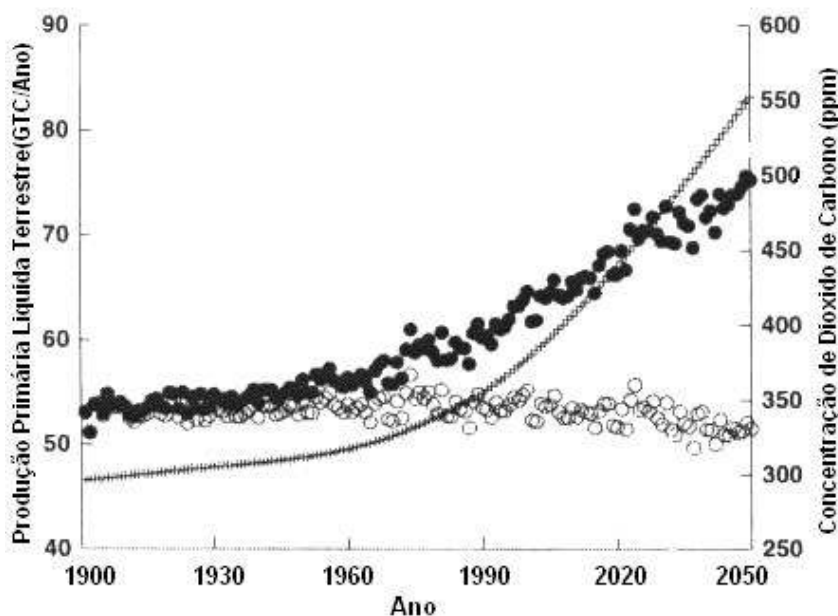


Figura 18: Simulações de produtividade global líquida primária terrestre usando o cenário transitório HadCM3a1 climáticas a 2050. concentração de dióxido de carbono, (●) NPP com o aumento da concentração de dióxido de carbono; (○) concentração de dióxido de carbono mantida constante em 1900 o valor.

Fonte: Woodward *et al.*, 2008 p.1233

A elevação do CO₂ da atmosfera aumenta a capacidade fotossintética, sendo que vento em velocidade moderada eleva a fotossíntese por aumentar a disponibilidade de CO₂ às plantas; com baixa velocidade do vento, há depressão na fotossíntese, ao redor do meio do dia, segundo Alfonsi *et al* (1987).

A temperatura, entre fatores climáticos, é o mais importante para a produção de cana-de-açúcar.

Rodrigues (1995) afirma que a planta, geralmente, é tolerante a altas temperaturas, produzindo em regiões com temperatura média de verão de 47°C, desde que

empregada irrigação. Temperaturas mais baixas, menos de 21°C, diminuem o crescimento dos colmos e promovem o acúmulo de sacarose.

Dependendo do tempo de exposição, baixas temperaturas podem causar danos severos à cultura, como períodos longos de temperaturas ao redor de 0°C. Irvine (1965) observou que uma geada de -6,1°C, com duração de quatro horas, provocou danos semelhantes a uma de -0,5°C que durou 48 horas.

Segundo Rodrigues (1995), o aumento da temperatura induz, em curto prazo:

- o aumento da atividade fotossintética;
- aumento da atividade respiratória;
- aumento das irradiâncias de compensação e saturação da fotossíntese;
- diminuição da eficiência fotossintética.

Os efeitos no longo prazo do aumento da temperatura são:

- há uma relação inversa entre a capacidade fotossintética (atividade fotossintética máxima em luz saturante) e a temperatura de crescimento;
- aumento na fluidez de membrana;
- aumento da atividade enzimática das enzimas do ciclo de Calvin;
- aumento do teor de pigmentos, do número e do tamanho das unidades fotossintéticas,
- aumento da eficiência fotossintética e da biomassa;
- diminuição das irradiâncias de compensação e de saturação da fotossíntese;
- diminuição da atividade respiratória e do estímulo da atividade fotossintética à temperatura

2.14 Cenários futuros para a cana

Ao contrário do que deve acontecer com as outras culturas avaliadas nesse trabalho, a elevação da temperatura prevista para as próximas décadas pode ser, no geral, bem recebida pela cana. A planta tem boa tolerância às temperaturas elevadas, está

no Brasil há 500 anos e se adaptou bem aos diferentes solos de quase todo o país.

Com o aumento das temperaturas, a área apta ao plantio da cultura deve dobrar. Áreas localizadas nas maiores latitudes, que hoje apresentam restrições para a cana pelo alto risco de geadas, perdem essa característica, principalmente no Rio Grande do Sul, e se transformam em regiões de potencial produtivo dentro de 10 a 20 anos.

Pesquisadores da Embrapa dizem que a expectativa é que a cultura, que hoje conta com uma área potencial de cerca de 6 milhões de hectares, possa vir a se espalhar por quase 17 milhões de hectares em 2020 no cenário B2. Com essa expansão, o valor da produção, que em 2006 era de quase R\$ 17 bilhões, poderá subir para R\$ 29 bilhões em 2020 no B2. Com a elevação contínua da temperatura ao longo das décadas, a cultura já não ficará mais tão confortável e precisará mais de irrigação.

Pesquisas realizadas por Camargo e Tonetto (2008) comprovam que o agravamento das condições climáticas do planeta, em decorrência do aquecimento global, e a conseqüente busca de fontes energéticas limpas com menor emissão de gases efeito estufa, além da atual elevação significativa do preço do petróleo, são outros fatores que têm colaborado muito com o aquecimento da demanda internacional por bicomcombustíveis. O etanol brasileiro aparece como uma das principais alternativas de bicomcombustíveis limpos nesse cenário, devido a sua alta qualidade e viabilidade econômica, bem como devido à sua alta eficiência no balanço energético.

Para Camargo e Tonetto (2008), esse cenário tende a permanecer nos próximos anos e, conforme os diversos países forem impondo limites a emissão de gases efeito estufa, a demanda de etanol tende a continuar crescendo e a produção brasileira de cana-de-açúcar continuará a se expandir, dada sua grande viabilidade econômica para a produção de etanol.

Tem-se verificado, nos últimos anos, uma forte expansão da produção de cana-de-açúcar e etanol no estado de São Paulo e um relevante crescimento do número de usinas, conseqüência, principalmente, do aumento da demanda por etanol para atender o mercado de veículos *flex* no país, e pelo crescimento da demanda mundial

por combustíveis limpos, preocupação crescente entre os governos com as questões ambientais. Outro indicador são as condições favoráveis vividas pelo mercado internacional de açúcar.

Segundo Carvalho (1998), somente no estado de São Paulo a “cadeia canavieira” responde por 40% do emprego rural e 35% da renda agrícola. No estado de São Paulo, o cultivo da cana-de-açúcar pode ser separado em três grupos, segundo a época de plantio e número de cortes. A cana-de-açúcar plantada no final de cada ano se desenvolverá inicialmente sob condições de boa umidade e temperatura, e será colhida após um ano, sendo denominada “cana planta de ano”. Já a cana-de-açúcar plantada no início de cada ano, segundo Kuva (1999), se desenvolverá inicialmente sob condições de baixa umidade e baixas temperaturas, será colhida após dezoito meses, sendo denominada “cana planta de ano e meio”. Após, o primeiro corte (primeiras colheitas), todas serão colhidas, aproximadamente, um ano depois e são denominadas “cana soca”.

Para Taiz e Zeiger (1991), nos modelos de produção potencial de culturas, considera-se que a planta cresce sob nenhuma restrição hídrica ou nutricional e que os fatores de produção aéreos definem o crescimento e a produção das plantas. O acúmulo de matéria seca na planta depende do balanço entre os processos de fotossíntese e respiração.

Estudo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) indica expansão da cana-de-açúcar no estado de São Paulo entre 2003 e 2009 e destaca que, pela primeira vez, mais da metade da colheita foi realizada sem a queima da palha. Segundo dados do mais recente relatório realizado pelo INPE, em São José dos Campos (SP), de 2003 a 2009, a área total do cultivo da cana disponível para a colheita no Estado saltou de 2,57 milhões para 4,89 milhões de hectares.

Em fevereiro de 2008, a Secretaria Estadual do Meio Ambiente informou que 141 indústrias do setor sucroenergético, que correspondem a mais de 90% do total de cana produzida no estado, haviam aderido ao Protocolo Agroambiental, que, entre outros temas, estabelece a antecipação legal para corte mecanizado da cana.

Pela primeira vez, mais da metade da colheita foi realizada sem queima. O relatório é relativo à safra de 2009/2010, que mostra que cerca de 56% da colheita foi realizada sem queima, contra 44% em que se utilizou o recurso. Na safra de 2006/2007, a colheita sem queima beirou os 34%.

De acordo com Rudorff (2010), a meta estabelecida pelo Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro, assinado em 2007 entre o governo do estado de São Paulo e a União da Indústria de Cana-de-açúcar (Unica) – que prevê a eliminação gradativa da queima da cana-de-açúcar até 2017 –, será cumprida, mesmo com a expansão da produção. Para as áreas com declive inferior a 12%, que permite a mecanização da colheita, o prazo termina em 2014. Com tecnologia atual de colheita mecanizada sem a queima da palha, os solos também se conservam, porque grandes quantidades de biomassa são deixadas sobre ele.

No Brasil, segundo Goldemberg *et al.* (2008), há solos que têm produzido cana-de-açúcar por mais de 200 anos e com rendimentos crescentes. A cultura da cana é considerada pouco causadora de erosões em comparação com outras, como soja e feijão.

2.15 Disponibilidade hídrica

As lavouras de cana-de-açúcar são intensivas em água, mas não prevalece à prática da irrigação, por ocuparem áreas com pluviosidade adequada.

De acordo com Ramos (2006), a quantidade de água no solo, na fase inicial de desenvolvimento da cana-de-açúcar, pode comprometer significativamente sua exploração, tendo em vista que a ausência de água na época de plantio pode prejudicar o desenvolvimento do sistema radicular, comprometendo, conseqüentemente, o desenvolvimento da cana planta e das soqueiras.

Chang (1968) e Gascho *et al.* (1983), constataram que, além da sua interferência no florescimento, as relações hídricas desempenham um papel importante no alongamento dos perfilhos e na altura final dos colmos em cana-de-açúcar.

Para Maule *et al.* (2001), a existência de boa disponibilidade de água no solo permite um bom aproveitamento dos nutrientes existentes no perfil do solo.

A distribuição irregular de água pode proporcionar efeitos prejudiciais às plantas, se coincidirem com os períodos críticos de necessidade de água, afetando em maior ou menor grau a produção final, conforme Lopes *et al.* (1984).

A disponibilidade de água, como já foi ressaltada por Ferraz (1983) e Camargo (1968), é um fator de relevância na maximização de ganhos de produtividade agrícola, desempenhando um papel fundamental na vida da planta, participando de uma série de reações químicas, inclusive da fotossíntese. É fato que a temperatura é um fator de grande importância para a maturação fisiológica da cana-de-açúcar e que a quantidade de água no solo, na fase inicial de desenvolvimento dela, poderá comprometer toda a exploração.

Ainda que o nível de incerteza sobre a magnitude e o ritmo do aquecimento global seja grande, pouca dúvida existe sobre a inexorabilidade da mudança do clima. A preocupação maior está justamente na incerteza e no risco aí envolvido: nada fazer, e se deparar futuramente com impactos gigantescos, ou tomar medidas que se mostrem precipitadas, e sacrificar recursos que poderiam ser usados em outras ações sociais econômicas urgentes.

Pesquisadores como Lopes *et al.* (1988) e Richie *et al.* (1990) têm investigado a influência do déficit hídrico sobre a eficiência fotossintética e a produtividade das culturas. Para Lopes *et al.* (1988), o déficit hídrico reduz as trocas gasosas, especialmente de CO₂, e sua condução para a folha. Com a interrupção do déficit hídrico, as trocas gasosas tendem a voltar ao normal, porém em velocidade lenta, como demonstra Nóbrega (2000). Para Mota (1983), a recuperação passa a ser

lenta quando a planta se aproxima do ponto de murcha. Para Mota (1983), isso depende de fatores edáficos e do manejo da irrigação, além da espécie envolvida. As plantas estão sujeitas a uma grande variedade de estresses ambientais, incluindo temperaturas inadequadas, condições físico-químicas de solo desfavoráveis e várias doenças e pragas.

Kramer (1983) afirma que o déficit hídrico reduz o crescimento e a produtividade do vegetal, mais que todos os outros estresses combinados, pois ocorre em qualquer local, mesmo nas áreas consideradas úmidas. Para Taiz e Zeiger (1991), o déficit hídrico não é limitado apenas às regiões áridas e semi-áridas. Segundo observaram, “mesmo em regiões consideradas climaticamente úmidas, a distribuição irregular das chuvas provoca períodos cuja disponibilidade hídrica limita o crescimento das plantas.” (MELO, ET AL, 2007).

A cana encontra suas melhores condições quando ocorre um período quente e úmido, com alta radiação solar durante a fase de crescimento, embora tenha uma grande adaptação às condições climáticas.

Casagrande e Vasconcelos, (1998) demonstram que a temperatura interfere na velocidade das reações bioquímicas e na ação de enzimas envolvidas na divisão, diferenciação e crescimento celular e, portanto, é um dos fatores que mais influem na brotação.

A faixa ótima foi objeto de investigação de vários pesquisadores. Clements *et al.* (1952), por exemplo, relataram que 19,4°C seria uma temperatura que estaria próxima do ponto no qual a atividade de crescimento é nula. Por outro lado, Gasho *et al.* (1973) observaram que não existe um ótimo de temperatura; se muito alta ou muito baixa, pode causar decréscimo na produção. Casagrande e Vasconcelos (1998), analisando a influência da temperatura durante a brotação sobre o número de colmos industrializáveis por touceira, verificaram que o ótimo estava entre 30°C e 33°C.

De acordo com Barbieri e Villa Nova (1977), a temperatura ótima para a brotação

das gemas é de 32°C a 38°C, e, para um ótimo crescimento, o ambiente deve apresentar médias de temperatura diurnas entre 22°C e 30°C, porém, abaixo de 20°C a taxa de crescimento diminui. Para a maturação e colheita, se faz necessária a redução da temperatura para 10°C a 20°C na região Centro-Sul, ocorrendo então a diminuição do crescimento e maior acúmulo de sacarose.

Dillewijn (1952) menciona que, em condições de temperaturas médias diárias inferiores a 15,5°C, é insignificante o crescimento da cana. Walter apud Dillewijn (1952) verificou haver crescimento apreciável apenas quando a temperatura média diária ultrapassa 21°C.

Fauconnier e Bassereau (1975) asseveram que o crescimento da cana é nulo a 15°C, praticamente nulo a 18°C e somente é normal acima de 20°C. Citam ainda que, com a temperatura abaixo de 25°C, o crescimento da cana é lento, entre 30°C e 34°C é máximo e que acima de 35°C torna-se também lento, sendo praticamente nulo em temperatura superior a 38°C. Esses autores afirmam que a absorção de água pelas raízes está intimamente ligada à temperatura do solo e, portanto, à do ar.

Essa absorção é máxima de 28°C a 30°C e nula de 10°C a 15°C (seca fisiológica conhecida no inverno nas regiões subtropicais, e quando isto ocorre é inútil irrigar). Para Fauconnier e Bassereau (1975), o comprimento dos internódios, seu diâmetro e seu número aumentam consideravelmente à medida que a temperatura média se eleva acima de 20°C; desse modo, o comprimento da cana e o volume do talo são quatro vezes mais efetivos a 25°C que a 21°C.

Gouvêa *et al.* (2009) ressalta que a produtividade potencial é determinada pela radiação solar, temperatura, foto período e características genéticas da cultura. Como resultado, as temperaturas cada vez mais elevadas provocarão um aumento da produtividade potencial, uma vez que essa variável favorece a eficiência do processo fotossíntese. O trabalho realizado por Gouvêa *et al.* (2009) conclui que um aumento na temperatura de 1°C, 2°C e 3°C resultou em, respectivamente, 6,4%, 12,1% e 17,0% incrementos diretos de produtividade em relação às condições atuais. Isso pode ser confirmado pela análise feita por Melo *et al.* (2007), que

afirmou que a produção de matéria seca por cana aumenta com temperaturas mais elevadas.

Conforme estudos de Silva e Guetter (2003), globalmente, tem-se definido as características das mudanças climáticas observadas e apontado suas possíveis consequências e impactos sociais. Cada região do globo apresenta mudanças distintas, com variações no volume e distribuição espacial da precipitação, aumento da temperatura, elevação do nível do mar e demais efeitos causados pelas mudanças climáticas. Ainda conforme Silva e Guetter (2003), o aumento da temperatura média global, associado possivelmente à ingestão antropogênica excessiva de gases do efeito estufa na atmosfera, leva o sistema climático a cenários indesejáveis.

Para Casagrande (1991), por apresentar um ciclo perene, a cana sofre influência das variações climáticas durante todo o ano. Essa cultura apresenta seu melhor desempenho quando ocorre um período quente e úmido, com intensa radiação solar, durante a fase de crescimento, seguido de um período seco na época de maturação e colheita. A extensão territorial do Brasil e as mais variadas condições climáticas conferem ao país uma grande vantagem competitiva, tanto em termos econômicos quanto de logística.

Brinholi (1972) conclui que a temperatura do ar tem efeitos pronunciados sobre o desenvolvimento da cultura. Entre 22°C e 30°C, a planta apresenta taxas máximas de crescimento e acúmulo de biomassa. Acima de 38°C, esses índices tornam-se praticamente nulos. Com menos de 19°C, começam a aparecer problemas de restrições térmicas e risco de geada maior do que 20%. Uma das vantagens da cana com as mudanças climáticas é que a planta se beneficia dos altos níveis de CO₂ na atmosfera sem se afetar muito com as altas temperaturas.

2.16 Material e Experimentos

Vu e Allen (2009) confirmaram o ganho de produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) em um ambiente com o dobro da concentração atual de CO₂ e aumento de temperatura. Nesse experimento, foram utilizadas duas variedades de cana (a CP73-1547 e a CP88-1508) que foram acompanhadas durante 3 meses de desenvolvimento, uma amostra mantida a concentração de CO₂ atual (360 ppm) e temperatura de 1,5°C acima do ambiente; outra amostra com a mesma concentração de CO₂ mas com temperatura de 6°C. Outras duas amostras com o dobro de concentração de CO₂ (720 ppm) e temperatura próxima do ambiente acima 1,5°C. A última amostra com o dobro de concentração de CO₂ (720 ppm) e temperatura 6°C graus acima do ambiente.

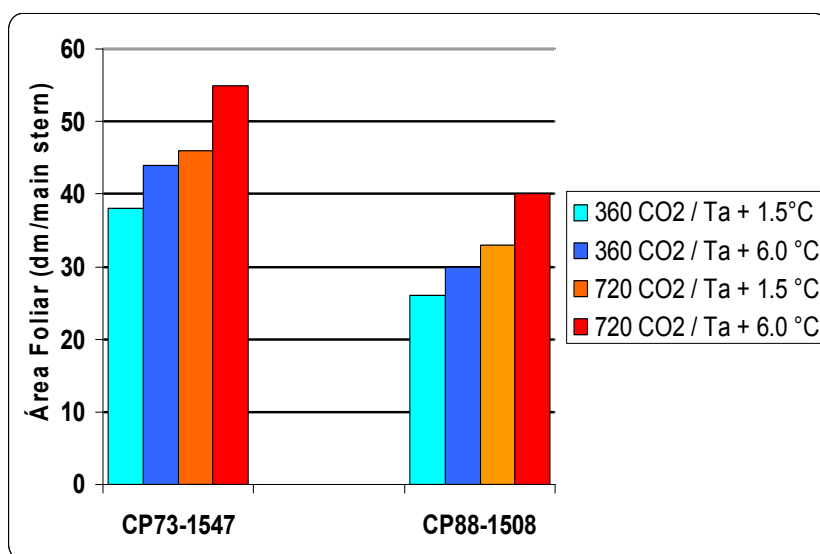


Figura 19: Área foliar total da haste principal da cana-de-açúcar
Fonte: Vu e Allen Jr., p.1146.

O resultado do experimento confirma que o aumento de concentração de CO₂ para 720 ppm trouxe ganhos de produtividade, desde a área foliar até no suco extraído em ambas as variedades. Quando a concentração de CO₂ é dobrada (720 ppm), mesmo se mantida a temperatura próxima ao ambiente, tem-se um ganho de 31%

na área foliar. Foi percebido um crescimento ainda maior na área foliar nas amostras que foram submetidas aos dois vetores, (dobro da concentração de CO₂ e aumento de temperatura em mais 6°C em relação à temperatura ambiente): o crescimento médio foi de até 50%. Outro importante resultado demonstrou que a biomassa total, incluindo das folhas e do caule principal seco, teve um acréscimo de até 64% quando tiveram aumento de CO₂ e temperatura em relação às amostras em condições ambiente.

O resultado mais substancial e importante foi a comparação entre o suco produzido no caule principal: as plantas submetidas ao dobro de CO₂ (720 ppm) e à temperatura de 6°C graus acima da temperatura ambiente, se comparada com amostras em ambiente normal de temperatura e CO₂, apresentaram um aumento de até 165% no suco extraído do caule principal. Nas amostras que tiveram apenas elevação de temperatura em 6°C, o suco do caule aumentou até 94% e, para as amostras que tiveram o dobro de aumento de CO₂, o aumento foi de 48%. Fazendo uma estimativa linear, o aumento de 1°C possibilitou um aumento de suco no caule de até 20,8% e o aumento de 100 ppm de CO₂ sugere um aumento de 13,3% de aumento de suco no caule.

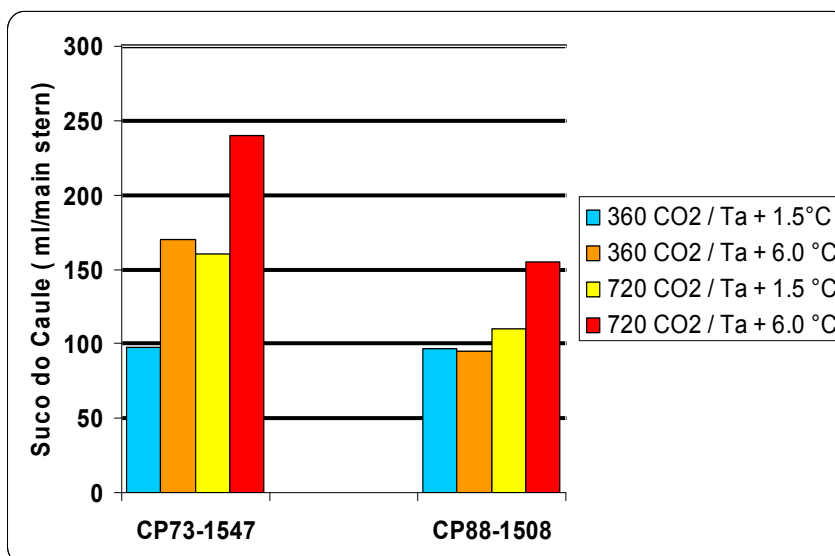
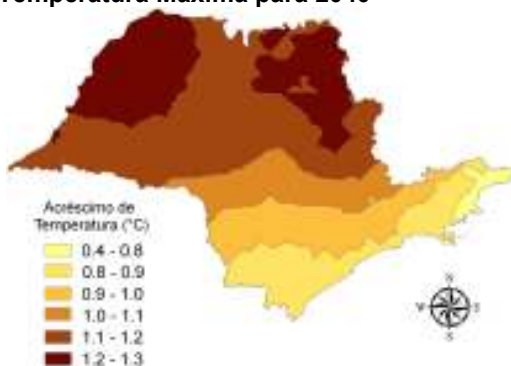


Figura 20: Volume total de suco por haste principal da cana-de-açúcar
 Fonte: Vu e Allen Jr., p.1145.

Marin *et al.* (2009) apresentaram importante experimento ilustrando o cenário para 2040 no estado de São Paulo.

Esse trabalho utilizou o banco de dados de 78 estações meteorológicas com série de pelo menos nove anos. Foram realizadas as simulações para a variedade de cana RB 72545 e as projeções feitas por Marengo (2007).

Temperatura Máxima para 2040



Temperatura Mínima para 2040

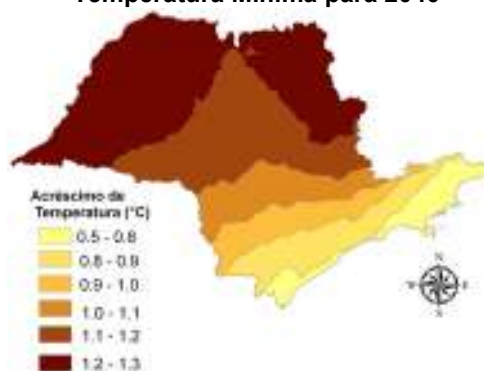
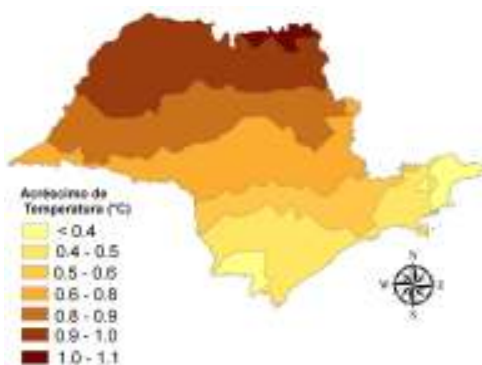


Figura 21: Mapas de projeções de aumento de temperatura do ar para 2040 considerando cenário **A** de mudanças climáticas globais
 Fonte: elaboração própria.

Temperatura Máxima para 2040



Temperatura Mínima para 2040

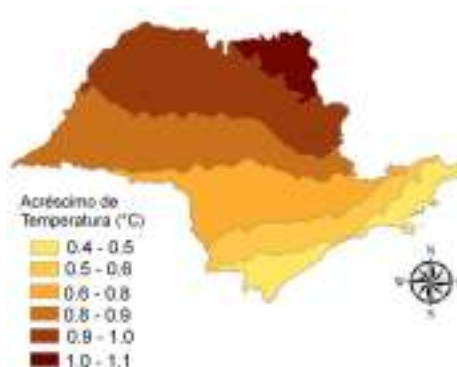


Figura 22: Mapas de projeções de aumento de temperatura do ar para 2040 considerando cenário **B** de mudanças climáticas globais.
 Fonte: elaboração própria.

2.17 Material e métodos

Com base nas projeções climáticas pelo IPCC, Marengo *et al.* (2007), para o Brasil, e no experimento de Marin *et al.* (2009), foram selecionadas as principais regiões produtoras de cana e as futuras áreas de expansão para uma melhor análise, pois o trabalho faz levantamento de todo o estado. Dessa forma, percebeu-se que a temperatura mínima está aumentando mais que a temperatura máxima nessas regiões:

Tabela 3: Resumo do trabalho Marin, et al. (2009) com foco nas regiões produtoras de cana do Estado de São Paulo.

Estado de São Paulo Regiões Produtoras de Cana com base nas Projeções Marin et. al. (2009)	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima
2040 A (pessimista)	+ 1,2 C°	+ 1,3 C°
2040 B (otimista)	+ 0,9 C°	+ 1,1 C°

Fonte: elaboração própria.

Assim, contribui-se para elevação da temperatura média anual, pois a tendência é de menor amplitude térmica durante o ano, principalmente nas regiões produtoras de cana. Com essas informações, foram definidos os dois prováveis cenários com relação a aumento de temperatura para 2040 no estado de São Paulo: Cenário A, com aumento de 2,0°C na temperatura média anual, e Cenário B, com aumento de

apenas mais um grau de temperatura média anual para as áreas de produção e futura expansão da cana no estado.

2.18 Temperatura e foto período

A temperatura tem grande influência na produção de cana, sendo que as temperaturas mais elevadas favorecem o desenvolvimento inicial e as temperaturas mais baixas do inverno provocam o stress necessário para a produção de sacarose.

Segundo Ramos (2006), a temperatura é definida como fator de maior importância para a maturação fisiológica da cana, porque, além de afetar a absorção de água e nutrientes através do fluxo transpiratório, é um condicionante não-controlável, tendo em vista que temperaturas muito altas podem ocasionar uma reversão da sacarose em frutose e glicose, além da redução da fotossíntese e aumento da respiração da planta, levando a um menor acúmulo de açúcares.

De acordo com Rocha (1984), o perfilhamento é influenciado pelas condições do solo, de cultivo e pelos elementos meteorológicos, e dentre estes devem ser destacados os efeitos da radiação solar e temperatura que sofrem variações durante as estações do ano.

2.19 Deficiência Hídrica

Deficiência hídrica é o fator responsável por 95% das quedas de safra no Brasil. A cana depende muito de chuva para atingir boa produtividade, e, em especial, precisa de um período seco para garantir mais sacarose e facilitar operação de corte, carregamento e transporte. Os critérios baseados nos totais pluviométricos anuais, sem levar em conta sua distribuição no curso do ano e as necessidades reais de umidade, nem sempre se aplicam bem, induzindo, não raro, a graves erros de

interpretação. Será utilizado nesse trabalho o balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955), baseado no sistema de contabilização da água do solo, que permite estimar, satisfatoriamente, a disponibilidade de umidade para a cana.

A produtividade e o desenvolvimento do canavial são afetados seriamente quando a deficiência hídrica ultrapassa determinados limites. O limite geralmente utilizado é de 150 mm de deficiências anuais, acima do qual se torna recomendável o emprego da irrigação suplementar. No outro limite, considera-se que deficiência hídrica anual igual a zero indica ausência de estação seca, fator que prejudica a maturação e colheita do canavial.

A seguir é feita uma análise das alterações climáticas previstas tanto para as áreas atuais de cana, quanto nas áreas de possíveis de expansão para o estado de São Paulo. Essas áreas foram levantadas nos indicadores considerados pela Embrapa na elaboração do Zoneamento Agro-ecológico da Cana-de-açúcar para o Brasil (2009):

- a vulnerabilidade das terras;
- o risco climático;
- o potencial de produção agrícola sustentável;
- a legislação ambiental vigente.

Adicionalmente, foram excluídas:

- as terras com declividade superior a 12%, observando-se a premissa da colheita mecânica e sem queima para as áreas de expansão;
- as áreas com cobertura vegetal nativa;
- os biomas Amazônia e Pantanal;
- as áreas de proteção ambiental;
- as terras indígenas;
- remanescentes florestais;
- dunas;
- mangues;

- escarpas e afloramentos de rocha;
- reflorestamentos; e
- áreas urbanas e de mineração.

Foi utilizada a base no experimento de Vu e Allen (2009) para estimar o ganho de produtividade da cana-de-açúcar conforme os cenários.

Tabela 4: Resumo dos experimentos apresentados para estimarmos o impacto com os cenários A2 e B2.

Estado de São Paulo	Temperatura Média	Ganho de Produtividade ton./ha com aumento de temperatura	Concentração de CO2	Ganho de Produtividade ton./ha com aumento de CO2	Ganho de Produtividade ton./ha com aumento de Temperatura e CO2
Atual	22,5 C°	0	360ppm	0	0
2040 A2	+ 2,0 C°	6%	+140ppm	4,00%	10,00%
2040 B2	+1,0 C°	2%	+70ppm	2,00%	4,00%

Fonte: elaboração própria.

O resultado mostra que, no cenário A (pessimista), a produtividade se elevaria 6%, em média, no estado de São Paulo. Já no cenário B, ter-se-ia uma elevação de 2%.

Para melhorar a percepção da evolução desse cenário, foram criados mapas a cada 10 anos para melhor visualização da evolução e impactos no estado.

Os mapas foram gerados a partir de séries históricas de estações meteorológicas do Brasil, retiradas do AGRITEMPO. Utilizou-se o modelo PRECIS em cima do cenário A2 do IPCC (2007); dessa forma, foram gerados valores utilizados nas projeções futuras de 2020, 2030 e 2040. Assim, pode-se avaliar melhor o efeito do risco proveniente dessas alterações década a década.

As projeções climáticas para o Brasil foram produzidas por uma equipe de especialistas do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/Instituto

Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE).

A área atual de produção e as áreas disponíveis para a expansão de cana no estado de São Paulo são focalizadas na Figura 23. As áreas brancas foram excluídas do mapa, pois elas representam as matas nativas, parques nacionais, reservas ou áreas inaptas ao cultivo da cana-de-açúcar.

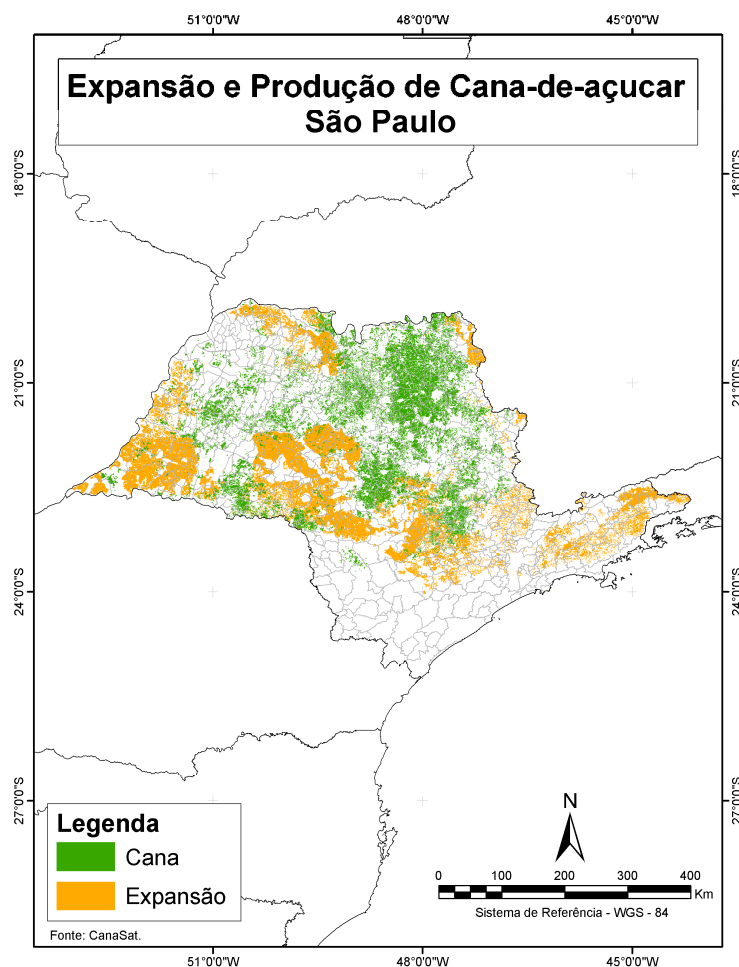


Figura 23: Expansão de Produção de Cana-de-açúcar em São Paulo
Fonte: elaboração própria com base Canasat / AGRITEMPO e no cenário A2 IPCC.

Segundo dados do Canasat, na safra 2009/10 existem mais de 4,8 milhões de hectares produzindo cana-de-açúcar no estado de São Paulo e ainda há áreas de expansão para garantir o crescimento do setor sucroenergético sem interferir em áreas de matas e reservas. Esse crescimento está baseado em áreas de pecuária, e

muitas delas são áreas degradadas.

3 RESULTADOS

Na Figura 24, nota-se a grande aptidão climática para o cultivo da cana no estado de São Paulo, sendo o fator principal para a cultura da cana a deficiência hídrica anual. As áreas de baixo risco e alta aptidão estão em verde escuro (déficit hídrico menor que 140 mm anuais). As áreas em verde claro (déficit hídrico maior que 140mm e menor que 400mm) necessitarão de irrigação suplementar ou de salvamento de forma sazonal. As áreas em amarelo escuro (déficit hídrico maior que 400mm) a irrigação será necessária para o desenvolvimento da planta.

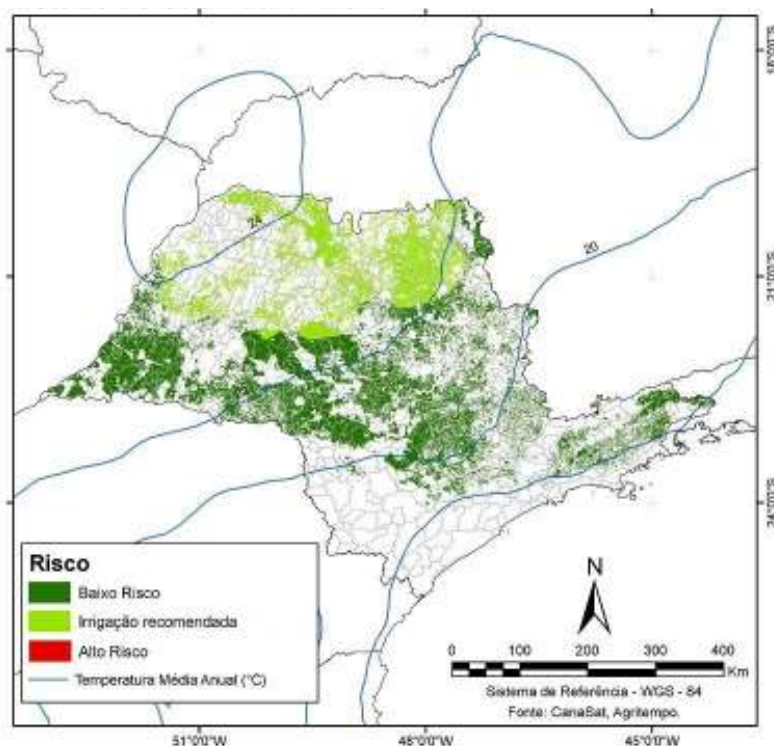


Figura 24: Risco Climático para Cultura da Cana-de-açúcar para o Estado de São Paulo em 2010
Fonte: elaboração própria com base Canasat / AGRITEMPO e no cenário A2 IPCC.

O mapa, na Figura 25, se refere a 2020 e indica que, nas próximas décadas, o aumento de temperatura ampliará o déficit hídrico. A previsão é que, de 2010 a 2020, as áreas em verde claro (irrigação recomendada) aumentarão em 315.000ha, e as áreas em verde escuro (baixo risco) diminuirão no mesmo valor em ha.

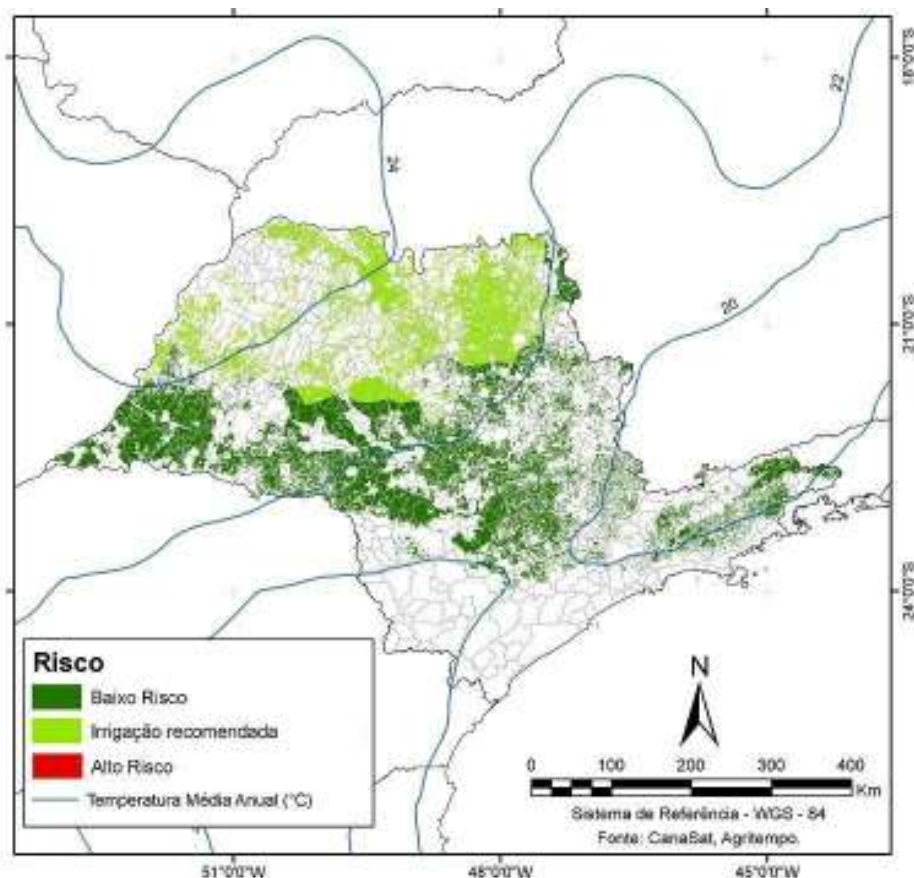


Figura 25: Risco Climático para Cultura da Cana-de-açúcar para o Estado de São Paulo em 2020
Fonte: elaboração própria com base Canasat / AGRITEMPO e no cenário A2 IPCC.

Em 2030, Figura 26, a mesma tendência se mantém com ampliação das áreas, necessidade de irrigação e redução das áreas verde escuras.

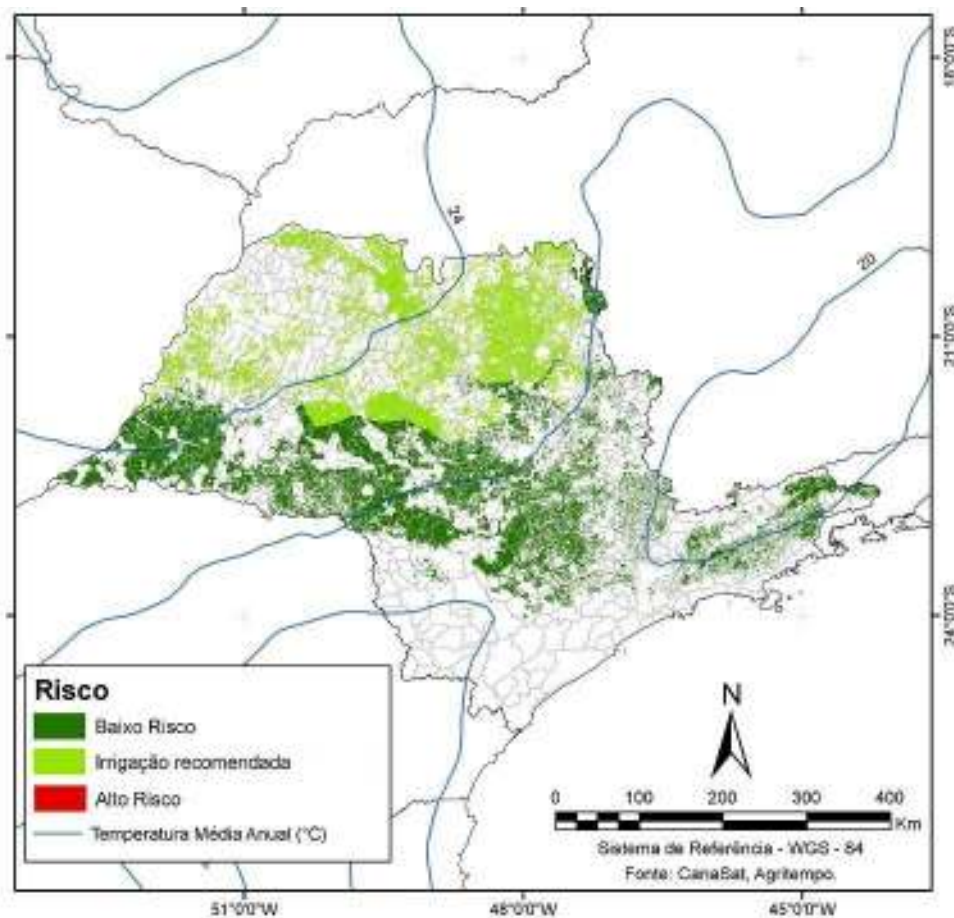


Figura 26: Risco climático para a cultura de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo em 2030
 Fonte: elaboração própria com base Canasat / AGRITEMPO e no cenário A2 IPCC.

Já em 2040, Figura 27, nota-se o aparecimento de uma área amarela no noroeste do estado de São Paulo, com deficiência hídrica maior que 300 mm anuais, ou seja, carência hídrica excessiva, o que torna necessária a irrigação com o uso de grande volume de água, sem o qual é inviável a cultura da cana. Esta área está estimada em 50 mil há; é pequena, ou seja, 0,63% da área de cana estimada para o período. Como as usinas já utilizam normalmente a irrigação com vinhaça, essa é uma solução para essa região de irrigação para viabilizar a cultura, reduzindo o déficit hídrico nos períodos secos.

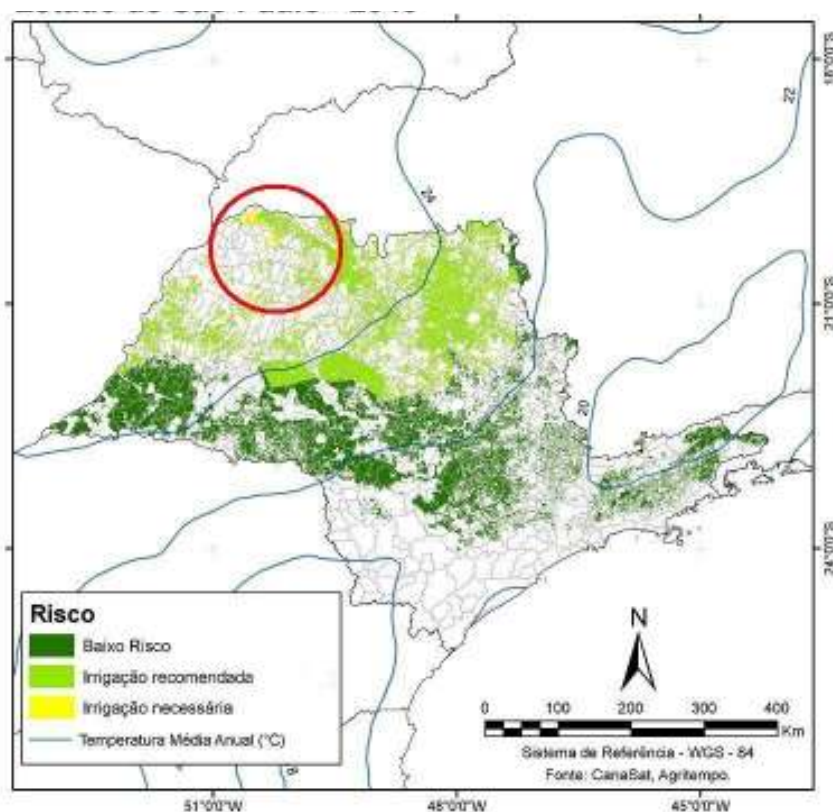


Figura 27: Risco climático para cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo em 2040
 Fonte: elaboração própria com base Canasat / AGRITEMPO e no cenário A2 IPCC.

Observa-se o deslocamento das faixas de temperatura média anual e principalmente na faixa de 24°C, que deverá se ampliar no estado.

Para uma melhor análise dos mapas anteriores, resumiu-se em um gráfico com a porcentagem das áreas de baixo risco, onde a irrigação é recomendada e onde é necessária, conforme Figura 28.

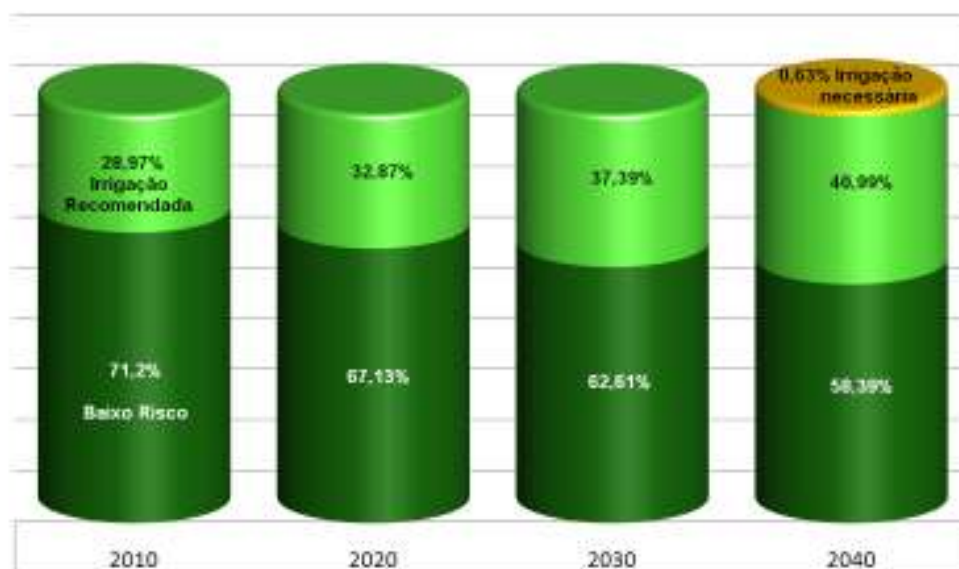


Figura 28: Risco climático para cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo para áreas atuais e áreas de expansão
Fonte: elaboração própria.

Existe uma migração, de 2010 a 2040, de 13% de áreas de baixo risco que deverão passar para áreas de irrigação recomendada.

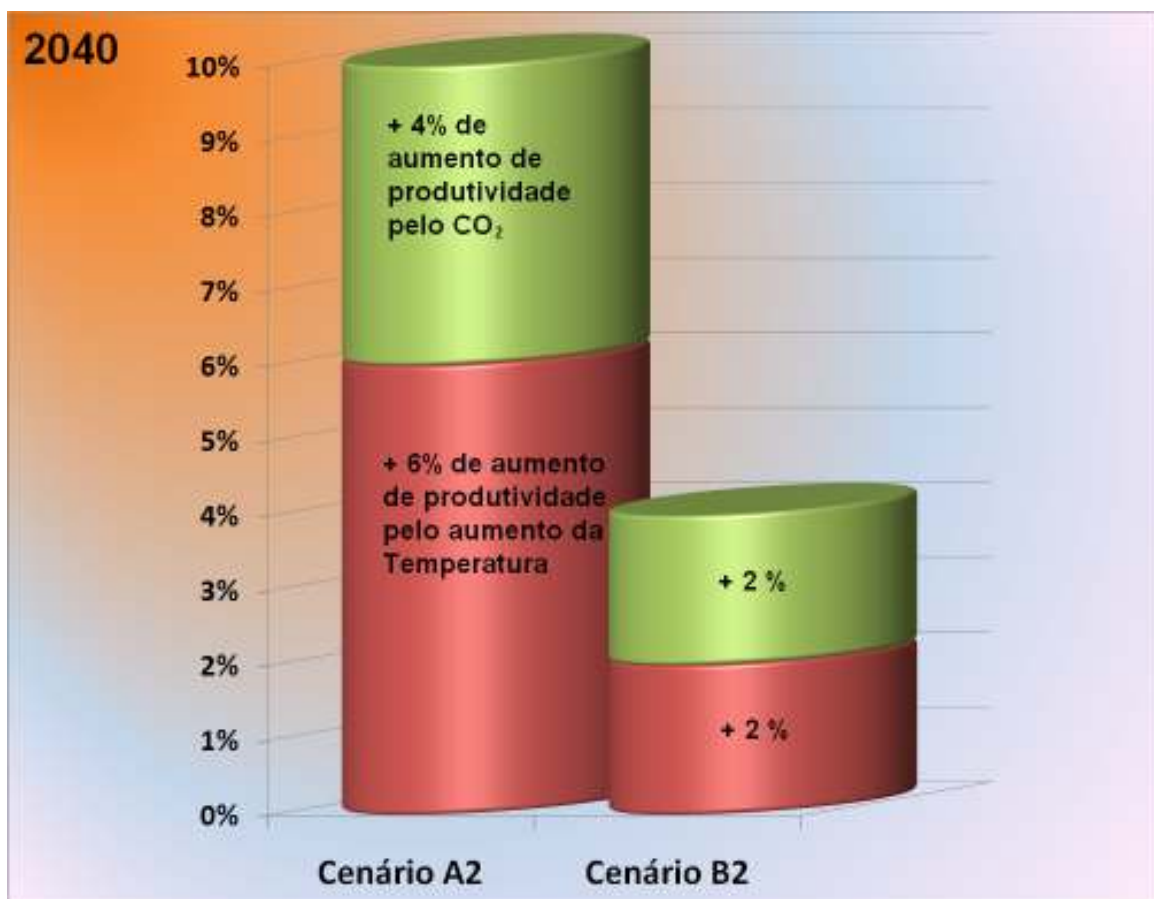


Figura 29: Somatória dos Ganhos de Produtividade pelo aumento de temperatura e CO₂ em 2040
 Fonte: elaboração própria.

3.1 Discussão

Conforme apresentado anteriormente, o experimento apresentado por Vu e Allen (2009) confirmou a previsão de ganho de produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) em um ambiente com o dobro da concentração atual de CO₂ e aumento de temperatura. Dessa forma, em 2040, a hipótese será verdadeira se o cenário de aquecimento global e a concentração de CO₂ continuarem aumentando, e a cana será beneficiada no estado de São Paulo.

Tanto no cenário A2 quanto no B2, haverá aumento de produtividade de até 10% da cana-de-açúcar. Percebe-se que a elevação de temperatura, no cenário

A2, terá ainda maior influencia positiva, do que o aumento de CO₂.

Se confirmando o cenário A2 com aumento de 10% na produtividade, e considerando-se a produção atual de cana no estado de São Paulo, ter-se-ia um adicional 40 milhões de toneladas de cana para moer, que, ao preço Consecana SP base setembro 2010 de cana no campo (R\$38,48/ton.), representa um total de R\$1,5 bilhões de reais. Esse volume de cana adicional de 40 milhões de toneladas poderá produzir 3,3 bilhões de litros de etanol hidratado. Esse volume adicional é suficiente para suprir, por 4 meses, todo consumo de etanol hidratado da frota atual do estado de São Paulo.

Por outro lado, em 2040 existirão municípios no estado de São Paulo, como Fernandópolis, Jales, Ouroeste, Estrela do Oeste, Macedônia, Paranapuã, Populina, Turmalina, Urânia e Vitória Brasil, que, necessariamente, terão que irrigar as áreas de cana ou mudar para outra cultura. Embora a utilização de irrigação aumente o custo de produção nessa região, o aumento de temperatura e de CO₂ esperado deverão ajudar a melhorar a produção e, dessa forma, compensar os custos de investimento na irrigação.

4 CONCLUSÃO

Ao contrario do que deve acontecer com outras culturas, a cana deverá, até 2040, sofrer impacto com viés positivo no potencial de produção, mesmo com o pior cenário de aquecimento global, estimado pelos cientistas (A2). Conforme os experimentos apresentados, a cana responde bem ao aumento de CO₂, pelo fato de ter um melhor desenvolvimento em temperaturas médias mais elevadas. O fator de influência deficiência hídrica, conforme projeções apresentadas para o estado de São Paulo, não deverá sofrer grandes alterações até 2040.

A elevação de temperatura será bem recebida, pois a cana se beneficiará com o calor e ela está bem adaptada ao clima do Brasil, pelo fato de ser uma cultura cultivada no país há quase 500 anos. Dessa forma, se apenas for considerada a elevação de 2°C na temperatura, prevista no cenário climático, nos próximos 30 anos, poderá existir até 6% de incrementos na produtividade da cana-de-açúcar.

Por outro lado, se a concentração de CO₂ atingir 500ppm na atmosfera, haverá ainda mais 4% de acréscimo na produtividade. Dessa forma, os vetores, temperatura e concentração de CO₂, contribuirão com aumento de produtividade por hectare de até 10%. Isso significa que, em 2040 ocorrerá um maior crescimento de produtividade, estimado em até 8 ton. por hectare, influenciado diretamente por estes dois vetores: aumento de CO₂ e elevação de temperatura.

A matéria-prima (cana), a base do negócio sucroenergético, não deverá sofrer negativamente com as alterações climáticas previstas até mesmo no pior cenário A2. Até 2040, o setor sucroenergético ainda terá colaboração do desenvolvimento tecnológico e de novas variedades de plantas mais produtivas, inclusive com a liberação comercial de variedades transgênicas resistentes a seca, herbicidas e pragas.

Segundo o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), até 2015 serão lançadas novas variedades até 25% mais produtivas. Todos esses diferenciais permitirão ganhos de

escala e redução de custo do produto final. A grande dúvida é saber se o mercado internacional confirmará seu interesse no etanol de cana para aditivar a gasolina e reduzir os GEEs ou se ele ficará como uma solução para o mercado interno no Brasil.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho não termina aqui. É necessário continuar acompanhando a evolução do aumento da temperatura e a influência do CO₂ na cana nas próximas décadas, para que seja possível conferir a previsão apresentada para 2040.

Novos trabalhos, com acompanhamento climático em outros estados como Minas Gerais, Goiás e Paraná, serão muito importantes, pois são áreas que deverão ter impactos maiores que o estado de São Paulo. Conforme observado, se as previsões se confirmarem, novas áreas com baixo risco poderão se abrir na região Sul do Brasil e o aumento de áreas com necessidade de irrigação se ampliará na região Sudeste e Centro-Oeste, confirmando uma tendência de ampliação das áreas de expansão da cana para o Sul, que antes, pela baixa temperatura, eram áreas de alto risco para produção de cana-de-açúcar.

Não se pode deixar de acompanhar o trabalho de desenvolvimento de novas variedades de cana para essas novas condições climáticas, que serão fundamentais para a crescente produtividade no Brasil.

Avaliando pelo lado ambiental, é importante ressaltar as vantagens da cana no seqüestro de carbono e do etanol como combustível alternativo aos combustíveis fósseis. Os resultados obtidos nesse trabalho sugerem que essa ampliação da cana no estado deverá ocorrer sobre as áreas de pastagens degradadas espalhadas pelo estado, sem que seja necessário entrar em área de produção de alimentos ou protegida pela legislação ambiental. Dessa forma, é provável que, em alguns anos, os produtores de cana recebam créditos e/ou sejam estimulados financeiramente pelo serviço de seqüestro de carbono, colaborando, assim, para a estabilização do efeito estufa.

Conforme apresentado, os riscos agrônômicos serão baixos para o crescimento do setor sucroenergético. Percebe-se que as usinas atuais ainda necessitam de um volume de água para sua operação industrial. O maior risco para o desenvolvimento

da produção de etanol no estado de São Paulo, será a dificuldade de outorga de água para ampliação ou abertura de novas usinas. Sabe-se que muitas bacias hidrográficas do estado de São Paulo estão no limite da utilização. A CETESB, órgão do Estado responsável pelo controle e abastecimento de água, tem restringido a autorização de novas outorgas de águas superficiais (rios e lagos). Esse fator obriga a sondagem prévia para captação de água subterrânea. Esta solução aumenta o custo de produção pois são perfurados vários poços para atingir o volume diário necessário de água para o abastecimento do processo industrial que, em média, ainda consome 12 litros de água para cada litro de etanol produzido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSI, R. R.; PEDRO, M. J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B (Ed.). *Cana-de-açúcar: cultivo e utilização*. São Paulo: Fundação Agrícola, Piracicaba Cargill, 1987, cap.1, v.1, p. 42-87, 856p.

BARBIERI, V. *Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar (Saccharum spp.)* 1981.142p. Dissertação (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1981.

BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N. A. *Climatologia e a cana-de-açúcar*. In: PLANALSUCAR - Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar, Coordenadoria Regional Sul – COSUL, Araras, p. 1-22, 1977.

BARBOS, E. A. *Avaliação fitotécnica de cinco variedades de cana-de-açúcar para o município de Salinas – MG*. 2005. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Vitória da Conquista/Bahia, 2005.

BUCKERIDGE M. *Seqüestro de carbono, cana-de-açúcar e o efeito Cinderela*. Disponível em: <http://www.comciencia.br/comciencia/?section=8&edicao=23&id=258> Acesso em: 14 jun., 2010.

CAMARGO JR, A. S.; TONEDO JR, R. *Indicadores sócio-econômicos e a cana-de-açúcar no estado de São Paulo*. In: 1º WORKSHOP DO OBSERVATÓRIO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO. Disponível em: <http://www.observatoriodacana.org/files/Indicadores%20Econ%C3%B4micos.pdf>. Acesso em: maio, 2010.

CAMARGO, P. N. *Fisiologia da cana-de-açúcar*. Piracicaba: ESALQ, 1968. 38p.

CANA-DE-AÇÚCAR. Disponível em: <http://www.investimentos.sp.gov.br/setores/cana>. Acesso em: maio, 2010.

CANA-DE-AÇÚCAR é beneficiada pelo aquecimento global, mas pode ajudar a contê-lo. Jun, 2009. Disponível em: <http://www.sustentabilidade.blog.br/?tag=cana-de-acucar>. Acesso em: jun., 2010.

CARVALHO, H. M. Impactos econômicos sociais e ambientais devido à expansão da oferta do etanol no Brasil. *Land Research Action Network*, jul. 2007. Disponível em: <http://www.landaction.org/spip/spip.php?article190>. Acesso em: maio, 2010.

CIENTISTAS querem melhorar artificialmente fotossíntese da cana-de-açúcar. Agência Fapesp. fev., 2009. Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=melhorar-artificialmente-fotossintese-da-cana-de-acucar&id=>. Acesso em: maio, 2010.

CLIMA favorável à produção de cana-de-açúcar. Disponível em: <http://www.sugarcane crops.com/climate/>.

CORSI, M. A. S.; SERRA, E. A produção de cana-de-açúcar e a relação com as questões ambientais. Disponível em: <http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/221-4.pdf?PHPSESSID=2009050408293629>.

DESAFIOS da cana sustentável. *Portal do Agronegócio*, abr., 2010. Disponível em: <http://www.portaldoagronegocio.com.br/conteudo.php?id=38543>. Acesso em: maio, 2010.

DESASTRES naturais. *Clima Tempo – Meio Ambiente*. Disponível em: http://www4.climatempo.com.br/ct/meio_ambiente/desastresnaturais.html. Acesso em: jun., 2010.

DI GIORGI, D. *Derretimento de geleiras deve provocar o desaparecimento de cidades. ago, 2006. Disponível em:* <http://360graus.terra.com.br/ecologia/default.asp?did=17901&action=reportagem>. Acesso em: junho/2010.

ECONOMIA da mudança do clima no Brasil: custos e oportunidades. MARGULIS, S.; DUBEUX, C. S. (Eds). ; MARCOVITCH, J. (Coord.). São Paulo: IBEP, 2010. cap. 6., p. 61-62.

EMBRAPA. Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. Unicamp, agosto/2008. Disponível em: <http://www.embrapa.br/publicacoes/tecnico/aquecimentoglobal.pdf>.

ESTUDO feito no INPE indica expansão da cana-de-açúcar no estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.ecodebate.com.br/2010/04/29/estudo-feito-no-inpe-indica-expansao-da-cana-de-acucar-no-estado-de-sao-paulo/>. Acesso em jul., 2010.

FERRAZ, E. C. Fisiologia da cultura do arroz. In: SIMPÓSIO SOBRE A CULTURA DO ARROZ DE SEQUEIRO, 1983, Jaboticabal. *Anais...* Piracicaba: Instituto da Potassa, 1983. p. 77-90.

FOTOSSÍNTESE. Sobre biologia por algosobre. Disponível em: <http://www.algosobre.com.br/biologia/fotossintese.html>. Acesso em mai, 2010.

GASCHO, G. J.; SHIH, S. F. Sugarcane. In: TEARE, I. D.; PEET, M. M. *Crop-water relations*. New York: John Wiley, cap. 14, p. 445-479, 1983.

HARVEY, F. Lingering clouds. Climate change although a consensus around the likelihood and dangers of global warming has again strengthened, scientists face hard task in accounting for margins of error. *Financial Times., Analysis*. 30 ago., 2010, p. 5.

IPCC. Emissions scenarios – IPCC special report. IPCC Secretariat, c/o WMO, Geneva, Suíça, 2000.

KUVA, M. A. *Efeitos de período convivência e de controle das plantas daninhas na cultura de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) no estado de São Paulo*, 1999, 74p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. A. G. *Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para a produção agropecuária*. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1984. 47p. (Boletim técnico, 5). out., 2009 Disponível em: http://www.anda.org.br/boletins/boletim_05.pdf

MAIS cana com menos queima. *O Estado de São Paulo*. abr., 2010. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/noticias/vidae,mais-cana-com-menos-queima,544189,0.htm> . Acesso em: jul./2010

MANZATTO, C. V. ET AL (Orgs). *Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar*. 55 p.: il., (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627 ; 110), Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

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. *Ministério do Meio Ambiente – Secretaria da Biodiversidade e Florestas*. Brasília/DF, 2006.

MARIN, F. R. ET AL. *Cenários futuros para a cana-de-açúcar no Estado de São Paulo baseados em projeções regionalizadas de mudanças climáticas*. In: XVI CONGRESSO AGROMETEOROLOGIA, 22-25 set., 2009, GranDarrell Minas Hotel, Eventos e convenções, Belo Horizonte, MG.

MELO, S. B. ET AL. Aquecimento global e um estudo da produtividade potencial da cana-de-açúcar para a região de São Paulo. *Revista Caatinga*, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Mossoró, Brasil), v. 20, n. 4, p. 45-55, out./dez., 2007. Disponível em: [http:// www.ufersa.edu.br/caatinga](http://www.ufersa.edu.br/caatinga).

MOURA, G. B. A. Relação entre condições hídricas e o crescimento vegetal da cana-de-açúcar no município de Itambé, Pernambuco. *Revista Caatinga*, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Mossoró, Brasil), v. 20, n. 4, p. 10-17, out./dez., 2007. Disponível em: www.ufersa.edu.br/caatinga. Acesso em: jul./2010

NUNES, C. *Relatório Stern – uma síntese*. Departamento de Prospectiva e Planejamento e Relações Internacionais da Sphera. jul., 2007.

O AQUECIMENTO global. jan., 2006 . Disponível em: <http://www.terrazul.m2014.net/spip.php?article231>. Acesso em: jul./2010.

PEREIRA JR, L. R. ET AL. Variação climática no brejo paraibano e sua influência na produtividade da cana-de-açúcar. *Revista Verde*, v. 3, n. 3, p. 50-58, jul./set., 2008.

QUINTO, A. C. Aquecimento global poderá ser benéfico à produção de cana. *Agência USP de Notícias*. nov., 2009. Disponível em: <http://www.usp.br/agen/?p=10604>. Acesso em: 14 jun., 2010.

RUDORFF B. F. T. ET AL. Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo state (Brazil) using Landsat data. *Remote Sensing*. v. 2, n. 4, p. 1057-1076, 2010.

SANTOS, A. C. A. *Avaliação de genótipos de cana-de-açúcar para as condições edafoclimáticas de Aparecida do Taboão – MS*. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira- UNESP/Ilha Solteira, São Paulo. 2008.

SCHAEFFER, R. ET AL. Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil. *Sumário Executivo do Relatório Mudanças Climáticas e Segurança Energética no Brasil* (versão editada), jun., 2008.

SOUZA, A. P. ET AL. Elevated CO₂ increases photosynthesis, biomass and productivity, and modifies gene expression in sugarcane. *Plant, Cell and Environment*, 2008. Disponível em: <http://felix.ib.usp.br/pessoal/marcos/fisio2009/PDF/PDF%20PRATICA/artigo%20grupo%2010.p> Acesso em: jul./2010

TREVISAN, C. Glaciares tibetanos podem desaparecer antes de 2040. *O Estado de São Paulo*, nov., 2009. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/noticias/vidae,glaciares-tibetanos-podem-desaparecer-antes-de-2040,472599,0.htm> Acesso em: jul./2010

VU, J. C. V.; ALLEN, L. H. Stem juice production of the C4 sugarcane (*Saccharum officinarum*) is enhanced by growth at double-ambient CO₂ and high temperature. *Journal of Plant Physiology*, v. 166, p. 1141—1151, 2009.

ZHU, X.-G. ET AL. What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass. *Current Opinion in Biotechnology*, v. 19, n. 2, p. 153-159, 2008.

ZONEAMENTO Agrícola do Estado de São Paulo, v. 1, 1974. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/zoneamento/canadeacucar.htm>.