



PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO

TECNOLOGIAS AGRÍCOLAS DE BAIXO CARBONO

PRS CAATINGA

Módulo 2: Introdução ao Clima e à Ciência do Solo

Prof. Dr. Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão

ELABORAÇÃO



PARCEIRO EXECUTOR



EXECUÇÃO



REALIZAÇÃO



**FUNDAÇÃO BRASILEIRA
PARA O DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL**

Israel Klabin
Presidente

Walfredo Schindler
Diretor Executivo

**PROJETO
RURAL SUSTENTÁVEL CAATINGA**

Pedro Leitão
Coordenador Geral

Renata Barreto
Coordenadora Científica

Liana Gemunder
Assistente Executiva

Carlos Alberto Alves
Especialista Financeiro

CADERNOS PEDAGÓGICOS

Anne Clinio
Consultoria de Comunicação

Isabel Lippi
Projeto Gráfico

Anne Clinio
Diagramação

Mirian Lucia Pereira
Revisão de português

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE
DO SÃO FRANCISCO - UNIVASF**

Telio Nobre Leite
Reitor

Lucia Marisy Souza Ribeiro de Oliveira
Vice Reitora

Michelle Christini Araújo Vieira
Pró-Reitora de Extensão

**CURSO TECNOLOGIAS DE BAIXA
EMISSÃO DE CARBONO
FORTALECENDO A CONVIVÊNCIA COM
O SEMIÁRIDO**

Lucia Marisy Souza Ribeiro De Oliveira
Coordenadora Pedagógica

Bruno Cezar Silva
Coordenador Administrativo

Esta obra adota a licença Creative Commons BY-NC-SA



Você tem direito de:

- Compartilhar — copiar e redistribuir o material em qualquer suporte ou formato
- Adaptar — remixar, transformar, e criar a partir do material

O licenciante não pode revogar estes direitos desde que você respeite os termos da licença.

- Atribuição — Você deve dar o crédito apropriado, prover um link para a licença e indicar se mudanças foram feitas. Você deve fazê-lo em qualquer circunstância razoável, mas de nenhuma maneira que sugira que o licenciante apoia você ou o seu uso.
- Não Comercial — Você não pode usar o material para fins comerciais.
- Compartilha Igual — Se você remixar, transformar, ou criar a partir do material, tem de distribuir as suas contribuições sob a mesma licença que o original.
- Sem restrições adicionais — Você não pode aplicar termos jurídicos ou medidas de caráter tecnológico que restrinjam legalmente outros de fazerem algo que a licença permita.

Como citar:

LEITÃO, Mário de Miranda Vilas Boas Ramos. *Módulo 2: Introdução ao Clima e à Ciência do Solo*. Projeto Rural Sustentável Caatinga (PRS Caatinga). Petrolina: Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf), 2023.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P991 Programa de Capacitação - Tecnologias Agrícolas de Baixo Carbono PRS Caatinga: Módulo 2: Introdução ao Clima e à Ciência do Solo / Organizado por Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão, Pedro Leitão, Renata Barreto, Lucia Marisy Souza Ribeiro de Oliveira, Bruno Cezar Silva. – Petrolina-PE: UNIVASF, 2023.

141 p.: il.(Série Tecnologias Agrícolas do Baixo Carbono, v. 2).

ISBN: 978-85-5322-192-9 (E-book)

Inclui referências.

1. Agroecologia. 2. Mudanças Climáticas. 3. Aquecimento Global. 4. Semiárido. I. Leitão, Mário de Miranda Vilas Boas Ramos. II. Leitão, Pedro. III. Barreto, Renata. IV. Oliveira, Lucia Marisy Souza Ribeiro de. V. Silva, Bruno Cezar. VI. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 630.2745

Sumário

Apresentação	2
Introdução.....	9
1. Relações Astronômicas Terra-Sol.....	10
2. Estrutura Vertical da Atmosfera.....	19
3. Tempo e Clima.....	28
4. Impactos e Consequências do Desmatamento	44
5. Circulação Atmosférica e os Sistemas que Geram Chuvas no Nordeste.....	61
6. Temperatura da Água dos Oceanos e as Chuvas no Nordeste.....	74
7. Captação da Água de Chuva em Áreas do Semiárido	79
8. Aquecimento Global	84
9. Mudanças Climáticas	102
10. Perdas por Evaporação no Semiárido	119
11. Efeitos da Atividade Vulcânica e das Correntes Marinhas no Clima.....	124
12. Efeito Estufa Natural e Antrópico.....	132

Apresentação

O CAMINHAR DOS EXTENSIONISTAS RURAIS NA DIREÇÃO DA AGRICULTURA COM EMISSÃO DE BAIXO CARBONO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

As mudanças climáticas, desde algumas décadas, é uma realidade e se constituem num dos maiores desafios a ser controlado pelo sistema produtivo agropecuário, responsável por fornecer alimentos para o mundo, sendo ele, ao mesmo tempo, no Brasil, o setor da economia que mais contribui para o aquecimento global, quer pela emissão de gás metano, quer pela emissão de óxido nítrico, quer pelo uso excessivo de fertilizantes e agrotóxicos, além da monocultura extensiva que consome grande quantidade da água doce disponível e deteriora o solo.

Frente a esse quadro preocupante, a Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS) - com o aval do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) – aprovou, junto ao Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), o Projeto Rural Sustentável Caatinga, que tem, dentre os seus múltiplos objetivos, a Formação de Extensionistas Rurais em Tecnologias para Agricultura com Emissão de Baixo Carbono no Semiárido Brasileiro, na perspectiva de reorientar as atividades produtivas para a redução das emissões de gases de efeito estufa; a preservação dos recursos naturais e a manutenção do equilíbrio ambiental na produção agropecuária de maneira sustentável.

Para tanto, a Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf) foi a escolhida, para orgulho dos seus docentes e pesquisadores, que, alinhando-se com a expertise de instituições públicas - como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) Semiárido, o Instituto Nacional do Semiárido (Insa), o Mapa, o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IF Sertão PE), para citar algumas, e dezenas de Organizações Não Governamentais como a FBDS, gestora do Projeto Rural Sustentável Caatinga, a Fundação Araripe; O Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada (Irapaa), a Articulação Semiárido Brasileiro (ASA); o Centro de Assessoria e Apoio aos Trabalhadores e Instituições Não Governamentais Alternativas (Caatinga); a Cooperativa Agropecuária Familiar de Canudos, Uauá e Curaçá (Coopercuc); a Associação dos/as Agricultores/as Familiares da Serra dos Paus Dóias (Agrodóia); o Fundo Nacional de Permanência na terra (Funpet); o Instituto Terra Viva; o Instituto Irmã Dorothy (Irda); o Serviço de Tecnologia Alternativa (Serta); a Associação Comunitária

Terra Sertaneja (Acoterra); a Associação Regional dos Grupos Solidários de Geração de Renda (Aresol); a Cooperativa Ser do Sertão; o Centro Educacional São Francisco de Assis (Cefas), o Centro de Estudos Ligados à Técnicas Alternativas (Celta); a Cooperativa Mista dos Apicultores da Microrregião da Simplício Mendes (Comapi); a Cooperativa de Trabalho de Prestação de Serviços para o Desenvolvimento Rural Sustentável da Agricultura Familiar (Cootapi); a Fundação Dom Edilberto Dinkelborg (Funded); a Assessoria e Gestão em Estudos da Natureza, Desenvolvimento Humano e Agroecologia (Aghenda), a Associação de Reposição Florestal do Estado do Piauí (Piauí Flora) e outras -, colocaram, nas suas discussões sobre o Curso de Especialização em Agricultura com Tecnologias de Baixa Emissão de Carbono - destinado a profissionais de nível superior - o Curso de Aperfeiçoamento para profissionais de nível médio e o Curso de Extensão Universitária para agricultores com menor escolaridade, porém, com vivências práticas importantes, além dos seus saberes técnicos sobre as várias áreas do conhecimento, as formas, significados, culturas e vivências práticas ancestrais trazidas pelas populações tradicionais dos vários territórios. Esses atores e atrizes, ao mesmo tempo, aprendiam e ensinavam, numa rica troca em defesa da caatinga e da convivência com o semiárido, valorizando, sobretudo, o Sistema de Integração Lavoura, Pecuária, Floresta, numa mistura das plantações, da criação de animais e da cobertura florestal, num mesmo espaço, a fim de frear o impacto negativo do agro no aquecimento global.

Entretanto, para o Brasil se colocar na trajetória da economia de baixo carbono, faz-se necessário resolver o problema do desmatamento, das queimadas, investir em energias renováveis, promover formação em tecnologias alternativas sustentáveis e intensivas em capital social e humano para a população que vive e trabalha no campo, em que o extensionista rural se torna a figura mais importante na geração das bases para o desenvolvimento adequado do ponto de vista socioambiental e climático. É ele que pode promover um diálogo qualificado sobre os caminhos da produção familiar rumo à produção de baixa emissão de carbono, inclusive, tornando os agricultores familiares beneficiários do pagamento por serviços ambientais previstos tanto na legislação brasileira, quanto na internacional, pela preservação dos recursos naturais da caatinga.

Dos cursos mencionados, resultou uma coletânea formada por 13 (treze) cadernos pedagógicos, nos quais estão contidas ideias, opiniões, conceitos, teorias e práticas para enfrentamento das mudanças climáticas, a partir do tema central - **agropecuária familiar de baixo carbono**.

O Caderno 1, Introdução ao Programa de Formação em Tecnologias de Agricultura com Baixa Emissão de Carbono e o PRS Caatinga, apresenta o Programa Rural Sustentável para o bioma Caatinga, os seus objetivos, pressupostos, princípios e diretrizes e, como parte dele, as formações destinadas a extensionistas rurais e a agricultores familiares, explicitando a sua metodologia de execução, prazos, normas institucionais e as expectativas de desempenho previstas para cada participante.

O Caderno 2, Ferramentas Digitais de Uso no Ensino em ATER, discute os conceitos, as funcionalidades e o uso de diferentes ferramentas digitais, conforme sua aplicabilidade, sendo de grande valia para a formação e atuação dos profissionais extensionistas. Para tanto, foram apresentadas as principais ferramentas digitais existentes, e de acesso gratuito, e o seu funcionamento a serviço da Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER), a exemplo do *Google Meet*, para reuniões virtuais com interação e registro da atuação dos diferentes atores neste ambiente; o *Google Sala de Aula (Classroom)*, como um escritório virtual, que permite confeccionar Formulário Eletrônico *Google*, do básico ao avançado, ensinando a programá-lo para aceitar e receber respostas, criando perguntas condicionantes, vídeos, fotos e até documentos, além do *Google Drive*.

O Caderno 3, Introdução ao Clima e à Ciência do Solo, traz os fatores associados às mudanças do clima na sua relação com a variação da incidência da radiação solar sobre a superfície terrestre, em decorrência, principalmente, dos movimentos de translação e rotação, do nosso planeta, ou por uma alteração na retenção de calor, na atmosfera, pelo aumento da temperatura por meio do efeito estufa.

Em nome do progresso, o homem vem executando ações que culminam com a liberação de gases nocivos, que alteram o efeito estufa, configurando, assim, o aquecimento antrópico. Esse Caderno contempla, em seu conteúdo programático, os seguintes assuntos: relações astronômicas Terra-Sol; estrutura vertical da atmosfera; o tempo e o clima; impactos e consequências do desmatamento; circulação geral atmosférica e os sistemas que geram chuvas no Nordeste; como o aumento/resfriamento da temperatura da água dos oceanos (*El Niño, La Niña* e dipolo norte-sul do Atlântico) afeta o regime de chuvas no Nordeste; potencial de captação da água de chuva em áreas do semiárido; elevadas perdas por evaporação no semiárido como consequência da pouca profundidade dos açudes associada à alta incidência de radiação solar; temperaturas elevadas e baixa umidade do ar; mudanças climáticas e aquecimento global, regional e local e efeito estufa natural e antrópico.

O Caderno 4, As Práticas de Convivência com o Semiárido e Introdução às TecABC, aborda os princípios e as diretrizes das Tecnologias de Convivência com o Semiárido em diálogo com as Tecnologias de Baixo Carbono (TecABC), na agropecuária familiar, ressaltando os solos, no Bioma Caatinga, e as práticas conservacionistas mais apropriadas aos diferentes contextos do uso da terra, a partir de estudos de casos concretos e práticas de campo.

O Caderno 5, Tecnologias de Baixo Carbono na Caatinga, discute a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) como pilar para a formação do extensionista e do agricultor familiar, para adoção das diversas práticas agroecológicas em conjunto com as suas formas do fazer, no campo, na sua lide diária e ancestral, mas também os cuidados no manejo florestal, com especialidade a caatinga, nas suas várias formações e o banco de proteínas

para os ruminantes do semiárido. A recuperação de áreas degradadas com floresta e pastagem trouxe, para os discentes, conhecimentos importantes com as diferenças entre reabilitação e recuperação, ecossistema, sucessão e restauração, além de importantes informações sobre manejo de dejetos animais; alimentação de ruminantes; manejo produtivo e sanitário na pecuária; e os seus desdobramentos.

O **Caderno 6, Fortalecimento das Cadeias Produtivas**, aborda o tema, por meio dos Arranjos Produtivos Locais (APLs) como sistemas integrados, constituídos por atores interdependentes e por uma sucessão de processos de educação, pesquisa, manejo, produção beneficiamento, distribuição, comercialização e consumo de produtos e serviços relacionados, apresentando, também, identidade cultural e incorporação de valores e saberes locais dos Povos e Comunidades Tradicionais e Agricultores Familiares, além de assegurar a distribuição justa e equitativa dos seus benefícios.

A região semiárida do Brasil é rica em recursos naturais, sendo que muitos deles não são devidamente aproveitados pelos criadores e agricultores familiares, como forma de melhorar sua condição socioeconômica, a exemplo dos subprodutos do umbuzeiro, licurizeiro, maracujazeiro da caatinga, mel, caprinos, ovinos e leite, com vistas ao empoderamento dos criadores e agricultores familiares. Diante dessa realidade, para a formação dos extensionistas, priorizou-se discutir, com os participantes, o fortalecimento das cadeias produtivas por meio dos APLs da Fruticultura de Sequeiro, da Meloponicultura, da Caprinovinocultura e do leite, por serem geradoras de trabalho e renda na caatinga e por fazerem parte da vocação local e regional.

Durante o curso, foram sugeridas iniciativas, já testadas, que podem desenvolver habilidades e capacidades técnicas necessárias para melhorar a produção e a comercialização, no âmbito local, regional e territorial, concentrando esforços para criar atitudes capazes de promover o desenvolvimento social e humano dos produtores da agricultura familiar, além de abordar informações estratégicas para monitoramento e avaliação de todo processo.

O **Caderno 7, Fontes de Financiamento e Crédito Disponíveis**, trouxe para discussão algumas fontes de crédito e financiamento mais importantes para possibilitar o desenvolvimento da agricultura familiar no bioma caatinga, utilizando-se de tecnologias e práticas voltadas para a redução de emissões de carbono.

Na primeira parte do caderno, abordam-se as Políticas Públicas e o Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR) como ferramentas impulsionadoras do desenvolvimento do campo. Já na segunda parte, são apresentadas, em linhas gerais, as fases do SNCR, os seus princípios, diretrizes, objetivos, para maior compreensão do seu funcionamento e acesso. A parte três é voltada para a apresentação das chamadas linhas de crédito verde presentes no âmbito do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf),

reconhecido como a principal Política Pública para o desenvolvimento da Agricultura Familiar no Brasil. Na quarta parte, abordam-se os principais aspectos do Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651/2012) e da Política de Pagamento por Serviços Ambientais (Lei 14.119/21) como instrumentos que, também, podem ser utilizados, pelos agricultores familiares, para a conservação ambiental e para a geração de renda para as famílias que vivem na caatinga.

O **Caderno 8, Acesso a Mercados**, contém orientações para análise do aumento da produção, em observância aos princípios da Agricultura com Emissão de Baixo Carbono, destacando-se que a sua viabilidade, no semiárido, depende de pesquisas que comprovem a existência de demanda em mercados, feiras, circuitos curtos e outras modalidades de comercialização; se a demanda só existe em grandes distribuidores; ou se existe um modelo de negócio para o empreendimento.

No Caderno, são abordados ainda temas relevantes, tais como: valor agregado dos produtos; identificação de mercados; selos e certificações; modelos de negócios (Canvas); estratégias de *marketing* e, finalmente, é descrita, passo a passo, a elaboração de modelos de negócios.

O **Caderno 9, Gestão de Cooperativas e Associações**, trata de apresentar os conceitos básicos sobre o cooperativismo e o associativismo, na relação com os empreendimentos sociais e produtivos, os seus objetivos, princípios, diretrizes e funcionamento, como organização formal que comporta a ação econômica, visando a superação das relações de exploração comum, na sociedade capitalista, com aumento da produtividade, agregação de valor aos produtos, quer seja pela comercialização, quer seja pela agroindustrialização.

Destaque foi dado à Autogestão, como um exercício direto da democracia, com participação econômica dos associados, bem como, a importância da educação cooperativa / associativa para os associados e os jovens, na lógica da sustentabilidade social, econômica, cultural e ambiental. Durante a formação, foram, ainda, abordados os temas Organização de Cadeias Produtivas; Assentamentos rurais; Noções de Economia solidária; Gestão de cooperativas (Autogestão e modelos capitalistas de gestão, Autogestão e modelo de gestão do cooperativismo, melhores práticas de gestão); Formação e fortalecimento de cooperativas; Organização social e administrativa de cooperativas; Noções de legislação de cooperativas e Capacitação para a gestão de bens coletivos associados.

O **Caderno 10, Oportunidades e Sustentabilidade do Projeto**, tem como base os modelos de negócios estudados no Módulo (Caderno) 8, com discussões e práticas de ações que assegurem a sustentabilidade de programas e projetos, a exemplo do PRS Caatinga. Para tanto, foram exercitadas técnicas para autoavaliação e monitoramento de intervenções; padronização *versus* engessamento; criação de sublíderes; identificação de forças e fraquezas internas e, também, das ameaças e oportunidades do mercado, bem como,

marketing em negócios sociais. São ainda apresentados programas e projetos governamentais e privados, nacionais e internacionais, capazes de potencializar e ampliar o alcance do PRS Caatinga. Foi, também, trabalhada a Matriz SWOT, do projeto em andamento, adaptável para projetos futuros, como uma das estratégias de sustentabilidade.

O **Caderno 11, Registro de Atividades no Campo (Linha De Base)**, é o desenho inicial de uma metodologia para definição das coordenadas de um projeto, sendo apresentadas as bases e os fundamentos de um projeto e como fazer o seu registro mediante uma série de técnicas que foram dialogadas com os participantes.

Para tanto, entre os inúmeros métodos possíveis de serem utilizados, deu-se ênfase à Sistematização de Experiência; metodologias para o registro de fotográfico, de áudio e vídeo; utilização de GPS para registro das áreas das propriedades; interpretação de mapas e imagens de satélites; programas de regularização ambiental de propriedades rurais; cadastro ambiental rural; variáveis necessárias para cálculo dos indicadores-chave do PRS Caatinga; elaboração de relatórios de acompanhamento de campo e elaboração de ficha-técnica das propriedades rurais e o uso de aplicativos para acompanhamento das propriedades.

No **Caderno 12, Metodologia de Pesquisa e Ensino – Redes Sociais Populares**, foram trabalhados os conceitos e a prática da metodologia científica a partir do uso das redes sociais, tomando como referência os conteúdos conhecidos e novos da área, associando-os à prática do dia a dia, em redes sociais populares e acessíveis a todos, tais como, *Facebook*, *Instagram* e *WhatsApp*.

Dentro dessa visão, foram apresentados procedimentos, técnicas e recursos para aprimorar as formas de divulgação dos trabalhos, valorização dos produtos e elementos para agregar mais recursos facilitadores da comercialização de processos e produtos. Assim, para aprofundar a exploração das ferramentas visuais, foi criado um ambiente na Plataforma Digital disponibilizada para os participantes.

No **Caderno 13, Elaboração de Projetos/ Empreendimentos Sociais**, discute-se projeto/empreendimento social como processo que envolve pessoas que aplicam os seus conhecimentos e expertises a favor do outro, a fim de transformar a realidade de comunidades vulneráveis, na perspectiva de melhorar a qualidade de vida das populações, em vários aspectos, tais como: educação, saúde, saneamento básico, alimentação, moradia, lazer, cultura, geração de trabalho e renda e outros. Estabelece-se a diferenciação entre o empreendimento clássico - que tem como foco iniciativas que valorizam o potencial criativo dos sujeitos, visando o lucro - e o empreendimento social, que objetiva criar estratégias para solucionar problemas coletivos, utilizando-se das mesmas ferramentas.

Exercitam-se, passo a passo, as etapas da construção de um projeto, justificando-as, a fim de comunicar a importância da sua execução e os impactos positivos dele decorrentes; as transformações na vida dos atores nele envolvidos e os indicadores capazes de comprovar

a fidedignidade dos resultados obtidos, abordando, ainda, o extensionista rural como um empreendedor social, que pode contribuir para ampliar o capital social e o capital humano das populações com as quais atuam, mobilizando-as para a ética, à responsabilidade social, à crença na sua capacidade e no seu potencial para encontrar as soluções capazes de solucionar problemas incômodos, mas, sobretudo, a vontade de mudar a sociedade.

Boa leitura!

Profa. Dra. Lucia Marisy Souza Ribeiro de Oliveira

Coordenadora Pedagógica

Introdução

Prezado(a) estudante!

Gostaríamos de interagir, com você, sobre temas relacionados à **Introdução ao Clima e à Ciência do Solo**, pois, em qualquer estudo envolvendo a convivência do homem com o campo, esses são temas que servirão de base para sua orientação e formação. Abordaremos os conteúdos pertinentes, em 12 (doze) capítulos, nos quais você poderá conhecer ou relembrar os principais conceitos, desta área, associando-os à sua prática do dia a dia.

Mas não é para ficar parado(a)! Que tal ler os conteúdos, antes das aulas on-line, para que nelas você possa reforçar sua aprendizagem, fazendo perguntas e realizando as atividades práticas que serão propostas?

Então, para começar a entender o conteúdo do Capítulo 1, apresento-lhe algumas perguntas: você já percebeu como em certos meses há muito mais ocorrências de chuvas do que em outros? Sabe como a posição dos astros tem influência sobre esse fenômeno? E o que são realmente as estações do ano? Tudo isso e muito mais será discutido neste Capítulo! Vamos lá?!

1. Relações Astronômicas Terra-Sol

Você já pensou sobre o deslocamento dos astros e como isso pode influenciar nossa vida na Terra? E por que nas regiões Norte e Nordeste, do Brasil, as estações têm menos variação de temperatura que na região Sul? E por que o sol nasce mais cedo no Nordeste do que no Sul do Brasil? Todas essas questões são influenciadas pela posição da Terra, ao longo do ano, como você poderá ver neste Capítulo! Aproveite a leitura, faça reflexões e realize as atividades propostas!

1.1. Referencial local

Para você entender melhor o sistema de referências utilizado pelos cientistas do clima é importante conhecer o conceito de Pontos de referência. Para muitos estudos meteorológicos é fundamental selecionar Pontos de referência para os locais da superfície terrestre onde se deseja fazer a observação. Tais pontos são denominados referenciais locais. Deste modo, para cada ponto selecionado (referencial local) associa-se o sistema de coordenadas mais conveniente para o estudo desejado. Tais coordenadas, geralmente, são esféricas ou cartesianas, e muito importantes para se estudar os movimentos atmosféricos, assim como a posição dos astros na abóbada celeste. Em meteorologia, o sistema de coordenadas cartesianas (x, y, z), associado ao referencial local, centrado em ponto P da superfície terrestre.

1.2. Culminação e declinação do Sol

Quando o Sol (S) ocupa uma posição, na esfera celeste, e seu centro coincide com o plano de um meridiano, significa que, naquele instante, culminou no plano daquele meridiano e em todos os pontos situados nele, porém, com ângulos zenitais diferentes. Particularmente, no instante em que o Sol ocupa o zênite do local de observação (vertical local) essa situação é denominada de culminação zenital.

Por outro lado, o ângulo formado entre o plano do equador e o raio vetor do Sol é denominado de declinação solar. Na prática, pode-se considerar a declinação igual à latitude do local em que o Sol culmina no zênite naquele instante. Neste caso, assume-se que a vertical local é um prolongamento do raio da Terra, passando pelo local em questão, indo na direção do espaço. A declinação (δ) do Sol, para qualquer dia do ano, pode ser calculada pela seguinte equação:

$$\text{Sen}\delta = \text{Sen}\xi^\circ \cdot \text{Sen}(23^\circ 27')$$
(1.1)

$$\xi^\circ = 279,935 + F + 1,948 \sin F - 0,0795 \cos F + 0,0199 \sin 2F - 0,0016 \cos 2F \quad (1.2)$$

$$\delta = 0,3964 + 3,631 \sin(F) - 22,97 \cos(F) - 0,3838 \sin(2F) - 0,3885 \cos(2F) + 0,07659 \sin(3F) - 0,1587 \cos(3F) - 0,01021 \cos(4F) \quad (1.3)$$

Nas equações (1.2) e (1.3) F é a fração angular do ano, na data considerada, que pode ser obtida por:

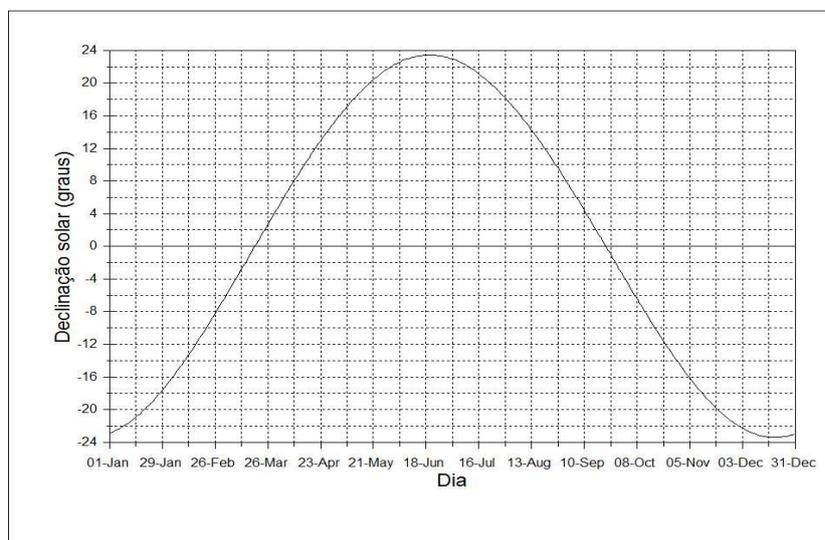
$$F = 360(d-1)/365,2422 \quad (1.4)$$

$$\delta = 23,45^\circ \sin[360(264 - d)/365] \quad (1.5)$$

$$\delta = 23,45^\circ \sin[360(d-80)/365] \quad (1.6)$$

Nas equações (1.5 e 1.6), d é o dia segundo o calendário juliano e representa o número de ordem do dia do ano. Por exemplo: em 01 de janeiro, d = 1; em 01 de fevereiro, d = 32 e em 31 de dezembro, d = 365. Embora a declinação do Sol varie, continuamente, com o tempo (Gráfico 1), pode-se considerá-la constante, ao longo de cada dia, tendo em vista que a variação diária é pequena.

Gráfico 1 - Declinação diária do Sol ao longo do ano



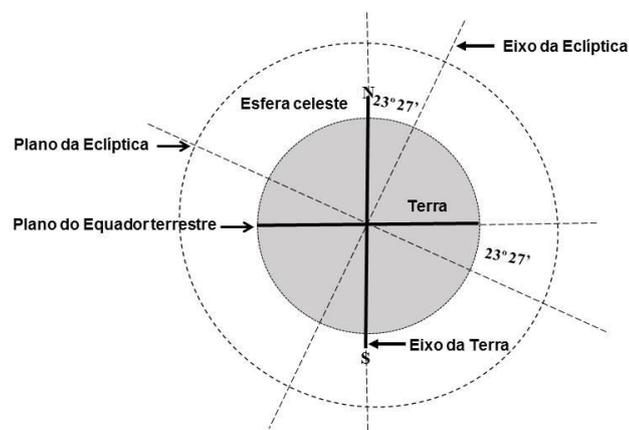
1.3. Movimentos da Terra

Mas vale lembrar que o Sol e a Terra, também, movimentam-se, não é? O Sol se desloca, no espaço, em direção a um ponto da esfera celeste, próximo da posição atualmente ocupada

pela estrela Vega, arrastando consigo todos os demais corpos que integram o Sistema Solar. Tendo em conta esse deslocamento, o movimento da Terra se efetua numa trajetória em hélice elíptica. Em meteorologia, porém, o importante é conhecer os movimentos da Terra, em relação ao Sol, e analisar suas consequências sobre o comportamento da atmosfera.

Devido à forma elíptica da órbita, a distância Terra-Sol, que, em média, é da ordem de 149,5 milhões de quilômetros, varia com a época do ano: a Terra ora se aproxima, ora se afasta do Sol. Isso também já é uma dica sobre as estações do ano, não é? Quando a distância Terra-Sol é máxima (04 de julho) é denominada de afélio. Quando é mínima (03 de janeiro) é chamada de periélio. Normalmente, a distância real Terra-Sol (D) é expressa em unidades da distância média (D) por meio da relação: $R = d/D$. A Terra também gira em torno do seu próprio eixo (movimento de rotação). Mas esses não são os seus únicos movimentos importantes, tendo em vista que o seu movimento de translação ocorre num plano denominado Plano da Eclíptica, o qual contém o centro do Sol. A interseção deste Plano, com a esfera terrestre, constitui uma linha chamada Eclíptica, que, também, pode ser projetada na superfície do globo (Figura 1). O Plano da Eclíptica forma, com o do equador, um ângulo de aproximadamente $23^{\circ}27'$.

Figura 1 - A interseção do Plano da Eclíptica com a esfera terrestre.



A inclinação do Plano Equatorial e, conseqüentemente, do eixo da Terra tem efeitos importantes em relação ao Plano da Eclíptica. Tais efeitos podem ser mais bem visualizados imaginando-se um observador hipoteticamente posicionado no centro da Terra e movimentando-se com ela. Por causa da rotação do planeta, o observador veria o Sol girando em redor da Terra, deslocando-se de Leste para Oeste, completando uma volta por dia. No entanto, isso, na realidade, é um movimento aparente do Sol ao longo do dia, pois, de fato, é o movimento de rotação da Terra que ocorre de Oeste para Leste. Isso é bem interessante, não é? Bem oposto ao que temos no senso comum.

Por outro lado, um observador ao observar o movimento do Sol, vai notar que sua posição, numa determinada hora, muda de um dia para outro, ou seja, sua declinação varia com o tempo. Na realidade, a declinação do Sol aumenta durante seis meses (de $-23^{\circ}27'$ até $23^{\circ}27'$) e diminui durante seis meses (de $23^{\circ}27'$ até $-23^{\circ}27'$). Essa variação da declinação implica um movimento aparente anual do Sol na direção Sul-Norte-Sul e ocorre devido ao movimento de translação da Terra.

Às culminações zenitais do sol em pontos dos trópicos e do equador denominam-se, respectivamente, solstícios e equinócios. Durante o ano ocorrem dois solstícios: em 21 ou 22 de junho, num ponto do Trópico de Câncer; e em 21 ou 22 de dezembro, num ponto do Trópico de Capricórnio. Os equinócios, também, ocorrem em número de dois, verificando-se em 22 ou 23 de setembro e 21 ou 22 de março, quando o Sol culmina no zênite de um ponto do equador. Essas datas são aproximadas, é claro: em primeiro lugar, porque ocorre um ano bissexto a cada quatro; em segundo, por causa da precessão dos equinócios, como será comentado adiante.

1.4. Estações do ano

Indo mais direto ao ponto central, do nosso Capítulo, o ano está dividido em quatro períodos - denominados estações – que se caracterizam por condições atmosféricas médias ou menos típicas, tanto mais acentuada quanto mais afastada, do equador, estiver a região que se considere. Na faixa tropical, por exemplo, praticamente, não se notam diferenças profundas no comportamento da atmosfera, a não ser quanto à época chuvosa (que se repete a cada ano aproximadamente nos mesmos meses) e uma suave oscilação da temperatura média do ar. Nas regiões de latitudes médias e elevadas, porém, essas mudanças são bem nítidas, condicionando, inclusive, os estágios de desenvolvimento de plantas (repouso biológico, floração, frutificação etc.). A Figura 2 mostra a distribuição dessas zonas térmicas na Terra.

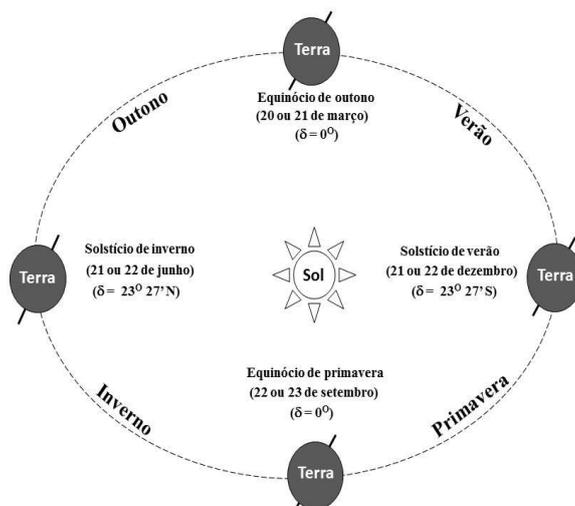
Figura 2: Zonas térmicas na Terra.



Fonte: Blog do Enem, 2022

Os solstícios e equinócios são eventos que marcam o início das estações do ano em cada Hemisfério. Deste modo, as estações do ano, num Hemisfério, devem ser defasadas de seis meses em relação ao outro, já que dependem do maior ou menor aquecimento deste considerado pelo Sol. O verão do Hemisfério Sul (Figura 3), começa na data do solstício de dezembro, que, atualmente, ocorre no dia 21. Nessa mesma data, portanto, começa o inverno no Hemisfério Norte. Exatamente, por isso, os solstícios e equinócios são designados, por alguns autores, conforme a estação que se inicia no Hemisfério considerado: por exemplo, o equinócio de primavera no Hemisfério Sul; de outono, no Hemisfério Norte.

Figura 3 - Início das estações do ano para o hemisfério Sul



1.5. Variação da duração efetiva dos dias

Em decorrência do movimento de rotação da Terra, a luz solar atinge a metade da superfície terrestre em cada instante, originando a alternância dos dias e noites. Mas a duração dos dias e das noites não é a mesma em todos os pontos da Terra. Nas diferentes estações, do ano, as porções iluminadas, em cada Hemisfério, não são, necessariamente, iguais num dado instante.

Para um ponto da superfície terrestre, que disponha de horizonte totalmente desobstruído, define-se a duração efetiva do dia como o intervalo de tempo que decorre entre o nascimento e o ocaso do Sol. Para fins meteorológicos, o nascimento e o ocaso do Sol ocorrem quando o disco solar tangencia o plano do horizonte aparente, estando o restante do disco, virtualmente, abaixo desse plano. Nessas circunstâncias, a verdadeira posição do centro do disco solar é 50' abaixo do plano do horizonte. Isso advém do fato do raio do disco solar subtender um ângulo de aproximadamente 16' e da refração atmosférica aumentar em cerca de 34' o ângulo de elevação do Sol quando próximo à linha do horizonte (LIST, 1971). Em outras palavras: devido à refração sofrida pela luz solar, ao atravessar a atmosfera, o Sol é visível mesmo quando, sob o ponto de vista geométrico, encontra-se abaixo do plano do horizonte.

1.6. Ângulo zenital do Sol

O ângulo zenital do Sol, para um dado instante e local, pode ser calculado determinando-se o ângulo formado entre o vetor posição do Sol (P) e a vertical local (Figura 4). Para cálculo do ângulo zenital, usa-se a equação:

$$\cos Z = \sin \Phi \sin \delta + \cos \Phi \cos \delta \cos h \quad (1.7)$$

Portanto, desde que se conheçam a latitude do local, a declinação (δ) do Sol e o ângulo horário (h), correspondentes ao instante em questão, o ângulo zenital (Z) do Sol, para qualquer instante, pode ser obtido pela equação (1.7). O ângulo horário é função da hora solar verdadeira, já que é definido em relação à culminação do Sol (meio-dia solar verdadeiro). Esse ângulo é positivo pela manhã e negativo à tarde. Por exemplo: três horas antes da culminação do Sol, $h = 45^\circ$; uma hora após a culminação do Sol, ou seja, a passagem do Sol pelo plano do meridiano local considera-se $h = -15^\circ$. Por outro lado, isso equivale a dizer que o deslocamento aparente do Sol corresponde a 4° a cada minuto.

Lembrete

Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet)

Você já ouviu falar do Inmet? Pois ele é um órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, do Brasil, cuja missão é:

[...] missão é prover informações meteorológicas à sociedade brasileira e influir construtivamente no processo de tomada de decisão, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do País. Esta missão é alcançada por meio de monitoramento, análise e previsão de tempo e de clima, que se fundamentam em pesquisa aplicada, trabalho em parceria e compartilhamento do conhecimento, com ênfase em resultados práticos e confiáveis.

Você Sabia?

Quem descobriu que é a Terra que gira em torno do Sol?

Nessa questão do movimento da Terra e do Sol um cientista-chave é Nicolau Copérnico. Ele foi astrônomo e matemático, nascido na Polônia, que desenvolveu a teoria heliocêntrica do Sistema Solar, quebrando a teoria de Aristóteles de que o Sol girava em torno da Terra. Foi, também, cônego da Igreja Católica, governador e administrador, jurista, astrônomo e médico. Um verdadeiro gênio! Contudo, o primeiro cientista a determinar a circunferência e o raio da Terra foi Eratóstenes em 276 a.C.

Avaliação

Para você poder avaliar seus conhecimentos, sobre este Capítulo, responda os exercícios propostos no seu Ambiente Virtual de Aprendizagem!

Conclusão

Caro(a) estudante!

Agora, que você já estudou, discutiu, pesquisou e respondeu os exercícios do Capítulo, está preparado para fazer novas pesquisas, pois o assunto é fascinante e aberto a novas reflexões.

Referências

Este assunto teve como base publicações impressas e mais antigas do Prof. Dr. Mário Adelmo Varejão-Silva. No entanto, aconselha-se, para aprofundamento do conhecimento, sobre o referido assunto, ler o livro na íntegra:

VAREJÃO-SILVA. M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife, 2006. Versão digital 2. Disponível em: <https://bit.ly/3k2Unjw>

Vamos Revisar?

Neste Capítulo, estudamos as relações Terra-Sol, enfocando os movimentos de translação e rotação. Vimos a importância de conhecermos o ponto referencial de um local, para efeito de avaliação da posição do Sol. Tratamos do movimento de translação e de sua relação com as estações do ano, como e quando as estações ocorrem e a distribuição das Zonas térmicas na Terra. Também, vimos que a Terra, em função do movimento de translação, qual representa o giro anual dela em torno do Sol, ora se aproxima e ora se afasta do Sol. Assim como vimos a importância do movimento de rotação e sua relação com o comprimento dos dias e noites, os quais variam dependendo da estação do ano.

2. Estrutura Vertical da Atmosfera

Você já pensou sobre a composição da atmosfera da Terra e como os gases nela existentes influenciam a vida dos seres que nela habitam? E por que a temperatura varia na medida em que a altitude aumenta? Você, também, sabe por que alguns gases são responsáveis pelo efeito estufa e isso é importante para que a Terra não tenha temperaturas tão baixas e insuportáveis? Todas essas questões são importantes para a existência da vida, na Terra, como você poderá ver neste Capítulo! Aproveite!

2.1. A Atmosfera

Para você compreender melhor a influência e o papel da atmosfera no clima de nosso planeta, é importante conhecer sua divisão por camadas, composição e os gases nela presentes. A atmosfera, essencial à vida terrestre, envolve a Terra em uma espessura de apenas 1% do raio do planeta. Ela evoluiu à sua atual forma e composição há, pelo menos, 400 milhões de anos, quando uma considerável cobertura vegetal já havia se desenvolvido sobre o solo.

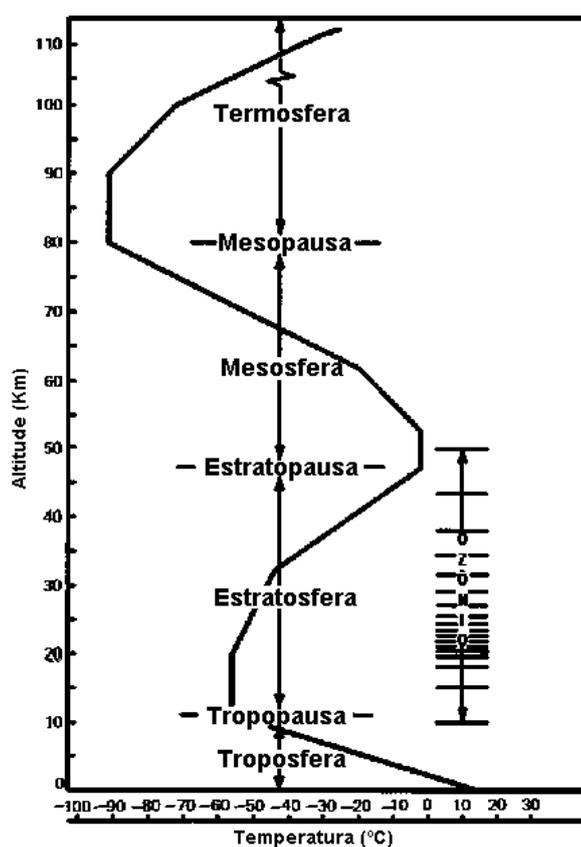
Em sua base, a atmosfera repousa sobre a terra e a superfície do oceano, o qual, atualmente, cobre aproximadamente 71% da superfície do globo. Embora o ar e a água compartilhem propriedades, diferem em um aspecto importante: o ar é compressível, ao passo que a água é basicamente incompressível. Em outras palavras: ao contrário da água, se apertarmos uma determinada amostra de ar seu volume diminui. O estudo da atmosfera tem longa história, envolvendo observações, teorias, e, desde a década de 1960, modelagem numérica. Como a maioria dos campos científicos, o progresso incremental foi intercalado com momentos de grande *insight* e avanço rápido.

As mensurações científicas somente se tornaram possíveis com a invenção de instrumentos adequados cuja maioria teve uma evolução longa e complexa. Galileu inventou um termômetro, no século XV, mas os termômetros precisos, com líquidos contidos em recipientes de vidro e escalas calibradas, não existiam até o começo do século XVIII (*Fahrenheit*) ou a década de 1740 (*Celsius*).

Em 1643, Torricelli inventou o barômetro e demonstrou que o peso da atmosfera, no nível do mar, sustentaria uma coluna de 10 metros de água ou uma coluna de 760 mm de mercúrio líquido. Pascal usou o barômetro de Torricelli para mostrar que a pressão diminui com a altitude, levando um barômetro até o *Puy de Dôme* na França. Esse feito abriu caminho para Boyle (1660) demonstrar a compressibilidade do ar, propondo sua lei que postula que o volume é inversamente proporcional à pressão. Somente em 1802 Charles fez a descoberta de que o volume do ar, também, é diretamente proporcional à sua temperatura. Combinando

as leis de Boyle e Charles, tem-se a lei do gás ideal, que relaciona a pressão, o volume e a temperatura, sendo uma das relações fundamentais na ciência atmosférica. Ao final do XIX, os principais constituintes da atmosfera seca (nitrogênio 78,08%, oxigênio 20,98%, argônio 0,93% e dióxido de carbono 0,035%) haviam sido identificados. Há muito, suspeita-se que as atividades humanas possam ter o potencial de alterar o clima. Embora o “efeito estufa” atmosférico tenha sido descoberto, em 1824, por Joseph Fourier, a primeira consideração séria de uma relação entre as mudanças climáticas, o efeito estufa e as alterações na concentração atmosférica de dióxido de carbono, também, emergiu no final do século XIX, por meio dos *insights* do cientista sueco Svante Arthenius. Sua expectativa de que os níveis de dióxido de carbono e a temperatura aumentariam devido à queima de combustíveis fósseis, infelizmente se mostrou correta.

Figura 5 – Perfil de temperatura da atmosfera terrestre



De forma geral, a estrutura vertical, da atmosfera, é apresentada de modo a evidenciar a variação de temperatura de acordo com a altitude. Cada camada da atmosfera possui composição química e regime de temperatura específico. A atmosfera terrestre é dividida em sete camadas, sendo estas: Troposfera, Tropopausa, Estratosfera, Estratopausa, Mesosfera, Mesopausa e Termosfera. A Tropopausa, Estratopausa e a Mesopausa são camadas de transição, nas quais a temperatura é constante. Na Figura 5 é mostrado o perfil de temperatura da atmosfera.

2.2. Camadas da Atmosfera Terrestre

2.2.1. Troposfera

Esta é a camada mais próxima do solo e compõe cerca de 75% da massa total da atmosfera. É nela que ocorrem, praticamente, todos os fenômenos meteorológicos e climáticos que afetam os seres vivos, por isso, é a camada da atmosfera mais importante para a vida. A dinâmica e a composição química da Troposfera afetam, grandemente, os seres vivos, tanto os terrestres quanto os aquáticos. A temperatura do ar diminui com a altitude (de -6 a -8° C a cada 1.000 m) e isso é causado pela emissão radiativa terrestre que aquece a camada de baixo para cima. A velocidade dos ventos na Troposfera, normalmente, aumenta com a altura devido ao efeito da fricção com a superfície do planeta. O seu limite superior é a Tropopausa. Esse limite encontra-se a 8 km de altitude nos polos onde a temperatura alcança -45° C, de 10 a 11 km de altura nas zonas temperadas (-50° C) e em torno de 17 km de altura (-60° C) sobre os trópicos. Portanto, possui espessura média em torno de 12 km.

2.2.2. Tropopausa

A Tropopausa é uma camada de transição e corresponde ao limite superior da Troposfera e inferior da Estratosfera. Não há variação de temperatura com a altura (gradiente térmico = zero).

2.2.3. Estratosfera

Na Estratosfera, os ventos alcançam velocidades maiores que 100 km/h. Nela, não ocorre condensação de água, com exceção de certos tipos de nuvens. O ozônio (O_3), um dos principais constituintes da atmosfera, é encontrado em maior concentração na Estratosfera/Estratopausa. A temperatura do ar aumenta com a altura, alcançando, um máximo, em torno de 0° C no seu limite superior, a Estratopausa.

2.2.4. Estratopausa

A Estratopausa é o limite superior da Estratosfera e inferior da Mesosfera. Não há variação de temperatura com a altura.

2.2.5. Mesosfera

Essa camada encontra-se entre 50 e 80 km de altitude. Na Mesosfera predomina uma variação decrescente de temperatura. No seu limite superior, a temperatura alcança valores próximos a -95° C. A Mesopausa é o limite superior da Mesosfera e inferior da Termosfera. Nela, não há variação de temperatura com a altura.

2.2.6. Termosfera

Nessa camada, os gases não estão homogeneamente misturados, mas formam camadas: a inferior é constituída por N₂, que é o gás mais pesado; acima, encontram-se, de forma sucessiva, uma camada de oxigênio atômico, gás hélio e hidrogênio. O aumento da temperatura é rápido com o acréscimo da altura, justificando o termo Termosfera.

2.3. Composição da Atmosfera

Você sabia que a atmosfera é constituída por vários gases, mas que o Nitrogênio e o Oxigênio juntos representam 99% do volume total? Ela é composta, ainda, por gases que não se dissipam, mantendo-se por meio da gravidade. Com base no critério da dinâmica da temperatura, a atmosfera terrestre divide-se em camadas. Os principais gases que a compõem são o nitrogênio, o oxigênio, argônio e o gás carbônico. O nitrogênio representa cerca de 78% do seu volume e absorve poucas quantidades de calor proveniente do Sol. Apesar de ser o gás com maior volume, na atmosfera, não apresenta papel muito importante. O oxigênio representa cerca de 21% do volume da atmosfera, sendo o gás que possibilita a vida no planeta e que forma o gás ozônio na atmosfera. Já o Argônio representa cerca de 0,93% do volume da atmosfera e é considerado um gás inerte, pois não reage a outros gases que estão presentes na atmosfera. Assim, pode ser encontrado em sua forma pura. Gás carbônico: representa cerca de 0,039% do volume da atmosfera. O gás carbônico é encontrado, na atmosfera, em decorrência do processo de respiração dos seres vivos. Também, pode ser proveniente de processos de combustão. E há, ainda, gases como neônio, metano, hidrogênio, ozônio e hélio. Na atmosfera terrestre, também, é encontrado vapor d'água, que não é um gás. O vapor d'água representa cerca de 4% do volume atmosférico e diminui à medida que a altitude aumenta. Esse elemento atmosférico influencia diretamente as dinâmicas das temperaturas médias, em todo o planeta, pois consegue absorver e emitir calor para a atmosfera.

2.4. Principais Gases

O ar é uma mistura mecânica de gases e não um composto químico. O ar seco, em volume, é composto, em mais de 99%, por nitrogênio e oxigênio (Tabela 1). Observações realizadas com foguetes mostram que esses gases são misturados com proporções constantes até, aproximadamente, 100 km de altitude. Apesar de sua predominância, têm pouca importância climática. Existe, na atmosfera terrestre, um grupo de gases com concentrações, aproximadamente, constantes (até cerca de 90 km de altitude). São os chamados gases “permanentes” ou “não.

Tabela 1. Constituintes “Não-variáveis” da atmosfera

CONSTITUINTES	CONTEÚDO (% POR VOLUME)
Nitrogênio - N ₂	78,084
Oxigênio - O ₂	20,948
Argônio - Ar	0,934
Neônio - Ne	0,001818
Hélio - He	0,000524
Metano - CH ₄	0,0002
Criptônio - Kr	0,000114
Hidrogênio - H ₂	0,00005
Xenônio - Xe	0,0000087

Fonte: Fleagle e Businger (1980).

2.5. Gases de Efeito Estufa

Apesar de sua relativa escassez, os chamados gases de efeito estufa desempenham um papel crucial na termodinâmica da atmosfera. Eles aprisionam a radiação emitida pela Terra, produzindo, assim, esse efeito. Além disso, as concentrações desses gases-traço são afetadas pelas atividades humanas, isto é, antrópicas.

1. O dióxido de carbono (CO₂) está envolvido em um complexo ciclo global. Ele é liberado a partir do interior da Terra e produzido pela respiração da biota, de micróbios, do solo, da queima de combustíveis e da evaporação oceânica. Em contrapartida, é dissolvido pelos oceanos e consumido pela fotossíntese vegetal. O desequilíbrio entre as emissões e a absorção pelos oceanos e biosfera terrestre leva ao aumento líquido observado na atmosfera.
2. O metano (CH₄) é produzido, principalmente, por meio de processos anaeróbicos, isto é, deficientes em oxigênio, em áreas úmidas e plantações de arroz, somando, aproximadamente, 40% do total, bem como a fermentação entérica, em animais,

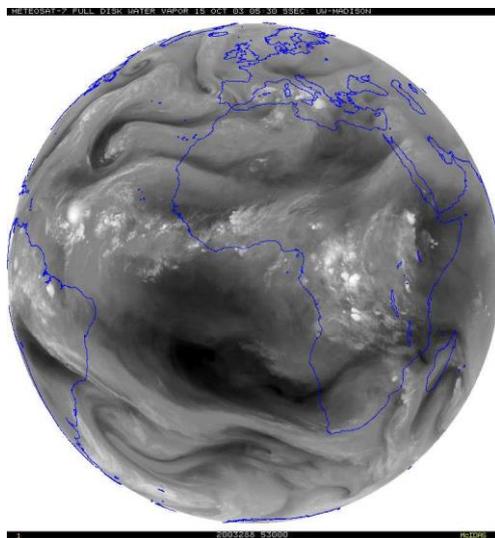
por térmitas, pela extração de carvão e óleo, pela queima de biomassa e por aterros sanitários e lixões.

3. O óxido nitroso (N_2O) é produzido, principalmente, por fertilizantes nitrogenados (50-75%) e processos industriais. Outras fontes são o transporte, a queima de biomassa, as pastagens e os mecanismos biológicos nos oceanos e solos. Ele é destruído por reações fotoquímicas, na atmosfera, envolvendo a produção de óxidos nitrogenados (NO_x).
4. O ozônio (O_3) é produzido pela quebra de moléculas de oxigênio, na atmosfera superior, pela radiação ultravioleta do Sol e é destruído por reações envolvendo óxidos nitrogenados (NO_x) e, claro, Cl. Este gerado por CFC, erupções vulcânicas e queima da vegetação, na estratosfera média e superior.
5. Os clorofluorcarbonetos – CFC, principalmente, CFC_1 , (F-12) e o CF_2Cl_2 (F-12) – são, totalmente, antropogênicos e produzidos por propelentes de aerossóis, gases refrigerantes, em refrigeradores - por exemplo, freon -, produtos de limpeza e condicionadores de ar e não estavam presentes na atmosfera até a década de 1930. As moléculas de CFC ascendem, lentamente, até a estratosfera e avançam em direção aos polos, sendo decompostas por processos fotoquímicos, em cloro, ao longo de um período médio de vida de, aproximadamente, 65 a 130 anos.
6. Os halocarbonetos hidrogenados (HFC e HCFC), também, são gases totalmente antropogênicos. Aumentaram, nitidamente, na atmosfera, nas últimas décadas, após começarem a ser usados como substitutos para o CFC. O tricloroetano ($C_2H_3Cl_3$), por exemplo, usado na lavagem a seco e em agentes desengordurantes, aumentou, quatro vezes, na década de 1980 e tem um tempo de resistência de 7 anos na atmosfera. Geralmente, eles têm poucos anos de vida, mas, ainda, causam um impacto substancial no efeito estufa.

Você sabia que o vapor de água (H_2O) é o principal gás de efeito estufa e um componente atmosférico vital? Sua média é de 1%, em volume, mas é muito variável no espaço e no tempo, estando envolvido em um complexo ciclo hidrológico global. O efeito estufa natural da atmosfera da Terra pode ser atribuído, principalmente, ao vapor de água. Ele explica 21 K da diferença de 33 K entre a temperatura efetiva de uma atmosfera seca e a temperatura da atmosfera real. Isso ocorre devido ao aprisionamento da radiação infravermelha. O vapor de água é bastante absorvente, em torno de 2,4 – 3,1 μm , 4,5 – 6,5 μm , e acima de 16 μm . Bem interessante, não é? Devido a ele existir, relativamente, numa proporção bem pequena, na atmosfera, seu poder em geral é pouco conhecido e, geralmente, o conceito de aquecimento induzido por gases de efeito estufa costuma ser atribuído aos efeitos dos

aumentos, em concentrações de dióxido de carbono atmosférico, resultantes das atividades antrópicas, principalmente, a queima de combustíveis fósseis! Na Figura 6 é mostrada a distribuição do vapor de água na atmosfera da Terra para o dia 03/10/2015.

Figura 6 - Distribuição do vapor de água na atmosfera da Terra no dia 03/10/2015



Fonte: METEOSAT – 7 Disk Full Water Vapor 15 Out 03 05:30 Ssec: Uw - Madison

O efeito estufa natural, gerado pelo vapor de água, pode ser observado em dias de maior concentração de vapor de água - umidade do ar elevada -, na atmosfera, o que, geralmente, acontece antes de ocorrências de chuvas. Neste caso, a sensação de calor é bastante sentida durante o período diurno e, também, durante as noites. Em média, existe cerca de 12 trilhões de toneladas de vapor de água na atmosfera da Terra.

Sverre Arrhenius, na Suécia, chamou a atenção para essa possibilidade, em 1896, mas evidências observacionais somente surgiram 40 anos depois (Calendar 1938, 1991). Todavia, não havia um registro detalhado, das concentrações atmosféricas, até que Charles Keeling instalou instrumentos calibrados no Observatório de Mauna Loa, no Havaí, em 1957. Em uma década, essas observações se tornaram a referência global. Elas mostraram um ciclo anual de aproximadamente 5 ppm, no Observatório, causado pela absorção e liberação da biosfera; e um aumento de 0,4%, no teor de CO₂, de 315 ppm, em 1957, para 383 ppm, em 2007, devido à queima de combustíveis fósseis. O aumento anual representa quase a metade da emissão total pela absorção de CO₂ pelos oceanos e pela biosfera terrestre. A principal banda de absorção para a radiação pelo dióxido de carbono é em torno de 14–16 μm , mas existem outras 2,4 e 4,6 μm . A maior parte do efeito do aumento na concentração CO₂ se dá pela maior absorção, na última faixa, pois a banda principal está quase saturada. Estima-se que a sensibilidade da temperatura média global do ar, a uma duplicação no teor de CO₂, está na faixa de 2-5 °C, enquanto a remoção de todo o CO₂ atmosférico poderia reduzir a temperatura superficial média em mais de 10 °C.

Para melhor entendimento, dos conteúdos apresentados, consulte a referência listada, abaixo, e outras que abordam esse assunto.

Conheça Mais

IPCC

Você já ouviu falar sobre o *Intergovernmental Panel on Climate Change* ou Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC)?

Criado em 1988, pela Organização Mundial de Meteorologia (WMO) e pelo Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas (UNEP), é um órgão científico sob os cuidados das Nações Unidas (ONU). Ele não busca conduzir pesquisas ou coletar dados, mas analisar as informações científicas, técnicas e sócio-econômicas mundiais, para compreender as mudanças climáticas, divulgando de tempos em tempos um relatório sobre o tema (ecycle.com.br/ipcc).

Lembrete

Muitos vídeos, disponibilizados no Youtube e em outros sites, tratam dessa temática. Por isso, vale a pena você reforçar seu aprendizado assistindo-os! Veja algumas indicações e, se possível, procure e leia outros artigos sobre o tema.

1. A Atmosfera – Camadas da Terra: Ciências para crianças.
Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=p7fYXt-K9QÍdeos>
2. Jornalismo da TV Cultura: Dos 10 municípios que mais emitem gás de efeito estufa no Brasil, sete estão na Amazônia legal
Disponível em: <https://binged.it/3lIXPWL>
3. Gases de efeito estufa.
Disponível em: <https://binged.it/3bN5aeT>

Vamos revisar?

Nesse Capítulo, tratamos da estrutura vertical da atmosfera terrestre, divisão da atmosfera em camadas, perfil de temperatura e sua variação com a altitude. Foram mostrados, também, os principais gases semipermanentes e os gases variáveis, bem como falamos sobre o papel e a importância de alguns gases para a manutenção da vida no nosso planeta. Também, foi discutido o efeito estufa natural e sua importância para o clima da Terra, assim como o efeito estufa causado pelo aumento da concentração de alguns gases, na atmosfera, resultante das atividades humanas ou a elas associadas.

Referências

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. Atmosfera, tempo e clima. Nona edição. Editora Bookman. Porto Alegre, 2013.

OLIVEIRA, A. “Fundamentos de Meteorologia e Climatologia”, Capítulo III – A Atmosfera. NEAS/UFRB. Disponível em <https://www1.ufrb.edu.br/neas/documento/category/8-cca-035-meteor>

3. Tempo e Clima

Dr. Emerson Damasceno de Oliveira

Alguma vez você já se perguntou como são acompanhadas as condições atmosféricas? Você já se questionou como é possível a realização das previsões do tempo? Tais questionamentos são relevantes devido ao fato de que somos constantemente afetados pelas condições meteorológicas e pela variabilidade climática, por exemplo, quando escolhemos uma roupa, para sair, compramos algum alimento, quando nosso voo atrasa, na conta de energia com bandeira vermelha ou mesmo no festival adiado. Assim, o tempo e o clima são partes fundamentais do nosso cotidiano, sendo inevitável que, em algum momento, busquemos por informações meteorológicas. Neste Capítulo, o tema será abordado, primeiramente, com uma contextualização histórica, destacando os acontecimentos que marcaram o surgimento da meteorologia e da climatologia. Além do mais, você vai conhecer, também, alguns instrumentos utilizados nas estações meteorológicas e vai saber a importância dos avanços tecnológicos para o aprimoramento das ciências atmosféricas. Cabe destacar que, na segunda parte, será demonstrado onde e como podemos encontrar dados meteorológicos e climáticos. Enfim, aqui vamos nós!

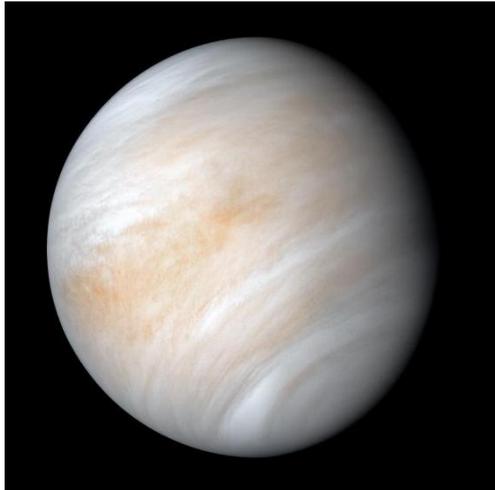
3.1. O sistema solar

O sistema solar é apenas mais um sistema planetário dentre incontáveis galáxias no universo, entretanto, o que o especial é o fato de abrigar a nossa “casa”. Deste modo, façamos a seguinte analogia: imaginemos que os planetas e suas órbitas são como casas dentro de um condomínio circular. Partindo-se desta suposição, o planeta Terra seria o inquilino da casa número 3, mantendo uma distância média, do Sol, da ordem de 150 milhões de quilômetros. No centro deste condomínio, encontra-se o Sol, que, em sua superfície (fotosfera), apresenta temperaturas de, aproximadamente, 5.727 °C. A massa do Sol é 333 mil vezes a massa da Terra e todos os planetas, do sistema solar, são atraídos pela grande força gravitacional exercida por ele. Essa dinâmica de órbitas faz com que todos os corpos celestes, dentro do campo gravitacional solar - meteoros, asteroides, cometas, planetoides etc. -, acompanhem o Sol, girando em volta da nossa galáxia, a Via-Láctea. No sistema solar, a Terra é o único planeta capaz de abrigar diferentes formas de vida e isso se deve a uma série de fatores, sobretudo, à disponibilidade de água e às favoráveis condições climáticas.

O clima, nos demais planetas, apresenta condições extremas, como é o caso de Vênus que, além de possuir uma atmosfera densa e rica em dióxido de carbono, encontra-se mais próximo do Sol do que da Terra. Assim, um dia em Vênus equivale a 243 dias terrestres, ou seja, enquanto uma face é aquecida pela radiação solar a outra permanece um longo período

na escuridão. O forte efeito estufa da atmosfera de Vênus, e a sua lenta rotação, fazem com que a temperatura média da superfície seja de aproximadamente 465 °C. Abaixo, temos duas fotos dos planetas Terra e Vênus, que foram tiradas do espaço. Nas fotos, é possível observar que, enquanto, na Terra, conseguimos enxergar boa parte da superfície, em Vênus, temos muita nebulosidade, o que impede a visualização direta de sua superfície rochosa e repleta de vulcões.

Figura 7: Planeta Vênus (A) e Terra (B) vistos do espaço. Respectivamente, missão Mariner 10 e Missão Apollo 17.



A



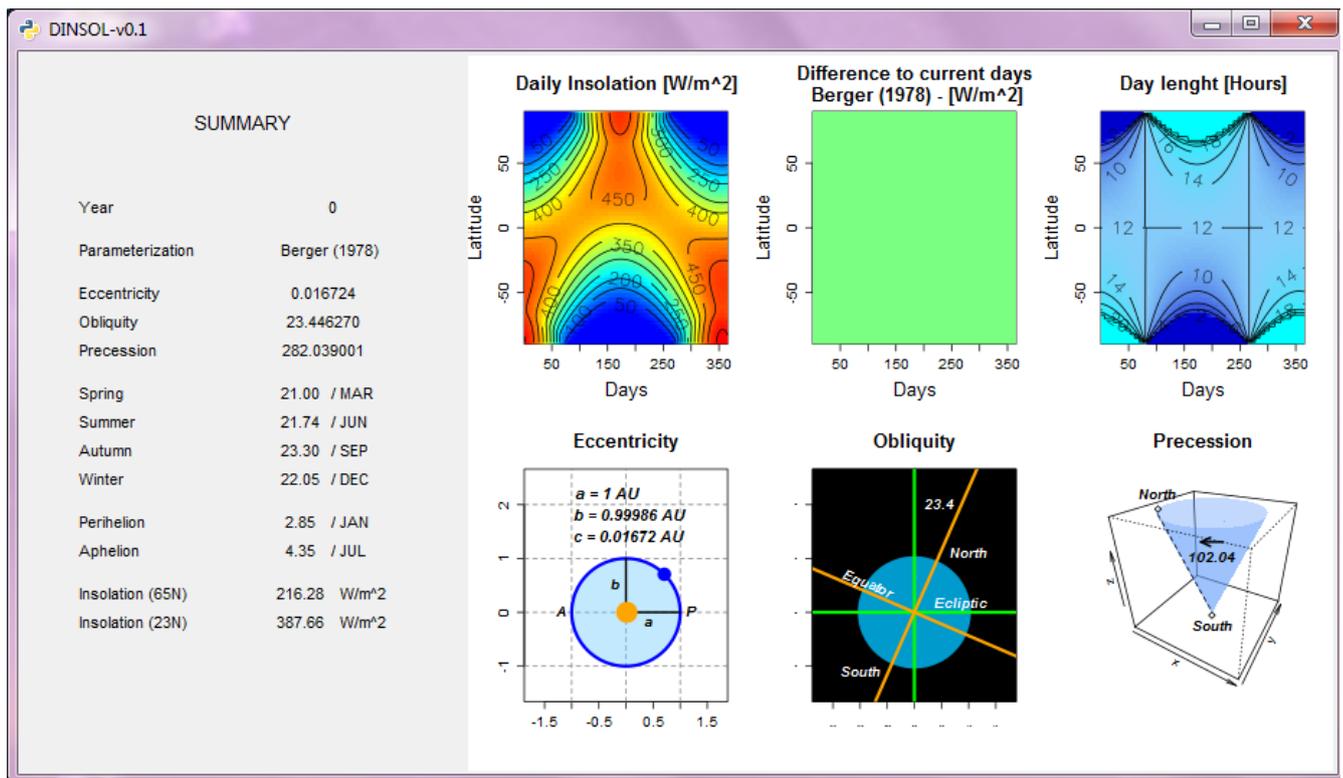
B

Fonte: NASA.

O Sol exerce papel predominante à regulação do clima terrestre e os parâmetros orbitais, da Terra, excentricidade e obliquidade, afetam a quantidade de energia radiante incidente sobre nosso planeta. O movimento de translação da Terra ocorre, seguindo uma trajetória elíptica, com o Sol ocupando um dos focos dessa elipse, ou seja, em dado momento do ano, a distância entre a Terra e o Sol será mínima (03 de janeiro) e depois máxima (04 de julho). Todavia, os planos das órbitas da Terra (plano equatorial) e do Sol (plano da eclíptica) apresentam uma inclinação entre si de $23^{\circ}27'$, significando uma variação latitudinal da distribuição da radiação solar, no decorrer do ano - declinação solar -, mecanismo responsável pela ocorrência das estações do ano. Outro parâmetro orbital, que altera a distribuição de radiação solar, é a precessão dos equinócios, movimento que ocorre devido à atração gravitacional mútua entre a Terra e a Lua, fazendo-se com que a Terra se movimente como um peão prestes a tombar. Cabe frisar que um ciclo completo da precessão dos equinócios dura, aproximadamente, 23 mil anos, portanto, impossível que uma mesma geração de pessoas sinta ou perceba os seus efeitos. Basicamente, a precessão dos equinócios altera as datas em que a Terra está mais próxima (periélio) ou mais distante do Sol (afélio), alterando-se, conseqüentemente, os padrões do clima gradualmente. Cabe,

ainda, destacar que é possível, com algumas limitações, recriar o clima do passado, sendo uma das estratégias o cálculo dos parâmetros orbitais, simulando-se as variações orbitais dos planetas do sistema solar, tanto para o futuro quanto para o passado. Veja, a seguir, um *snapshot* da saída gráfica do modelo *Daily Insolation* (DINSOL), simulando a radiação solar incidente na Terra, para o tempo presente. Faça uma leitura dos dados e a análise dos gráficos e dos esquemas.

Figura 8 - *Snapshot* da saída de resultados do modelo *Daily Insolation* (DINSOL) simulando a distribuição de radiação solar para os dias atuais



É fundamental evidenciar que, além do Sol, a concentração de gases do efeito estufa, também, afeta as condições climáticas do nosso planeta. Embora com baixa concentração, na nossa atmosfera, eles desempenham o papel de reguladores do nosso sistema climático. No Capítulo 4, vamos nos aprofundar neste tema, momento em que estudaremos o balanço de energia.

🔍 Você sabia?

Você já ouviu falar dos ciclos de *Milankovitch*? Quer saber mais? Assista ao vídeo abaixo:

Eras do gelo:

https://www.youtube.com/watch?v=iA788usYNWA&ab_channel=It%27sJustAstronomical%21

Sabe o modelo DINSOL, aquele que foi utilizado Neste Capítulo? Você poderá baixá-lo, gratuitamente, e instalá-lo em seu computador. Para isso, acesse a página do Laboratório de Meteorologia (LabMet) da Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf) e selecione o menu Pesquisas. Depois, é só clicar na opção DINSOL model e baixar a versão para o seu sistema operacional: <http://labmet.univasf.edu.br/>

3.2. A ciência do tempo e do clima

A meteorologia é a ciência que estuda as condições atmosféricas mediante as mensurações científicas, que só são possíveis por meio da invenção de instrumentos adequados. Deste modo, os meteorologistas buscam fazer novas descobertas, adotando sempre o que há de mais moderno em tecnologia. Desde o primeiro termômetro, até às primeiras observações meteorológicas, por satélites, passaram-se, aproximadamente, quatro séculos e, no decorrer desta evolução, muitos conceitos e fundamentos importantes foram desenvolvidos. O primeiro termômetro foi desenvolvido por Galileu, no século XVII, mas, foi durante o século XVIII que Fahrenheit criou o primeiro termômetro com recipiente de vidro e escala regulada. Pouco tempo depois, Anders Celsius criou uma escala, baseando-se nas mudanças de estado da água: a famosa escala Celsius. No final do século XIX, foi criado o conceito de temperatura absoluta, sendo este de autoria do físico inglês Lorde Kelvin. Em 1643, Torricelli inventou o barômetro e demonstrou que o peso da atmosfera, ao nível do mar, sustentaria uma coluna de cerca de 760 mmHg, o que equivale a uma coluna de 10 metros de água. Anos depois, Blaise Pascal escalou o Puy de Dôme, na França, com o barômetro de Torricelli e demonstrou que a pressão atmosférica diminui com a altitude. Por sua vez, essa descoberta abriu o caminho para que Boyle demonstrasse a compressibilidade do ar, descobrindo-se que o volume é inversamente proporcional à pressão. Daí, então, no ano de 1802, Jacques Charles demonstrou que o volume, também, era diretamente proporcional à temperatura e, assim, as leis de Boyle e Charles foram combinadas em uma nova lei - do gás ideal - uma das relações mais fundamentais em ciências atmosféricas. Já a quantidade

de vapor d'água, presente na atmosfera, só foi medida com o advento do higrógrafo de cabelo, um instrumento inventado por Saussure em 1780. Os registros históricos indicam que as primeiras medições de chuva ocorreram na Índia, Palestina, China e Coreia. Os primeiros pluviômetros, semelhantes aos modelos atuais, foram criados na dinastia Coreana de Sejong, no ano de 1441, em que o objetivo do rei era calcular a produtividade dos fazendeiros, permitindo, aos governantes, cobrarem impostos proporcionais à produtividade.

Um marco na história da meteorologia é a criação do telégrafo! Com o surgimento dessa nova tecnologia foi possível enviar dados meteorológicos, rapidamente, e o governo do Reino Unido incumbiu, ao Capitão Robert Fitzroy, a tarefa de criar a primeira rede de estações meteorológicas do mundo. Assim, o serviço de meteorologia do Reino Unido surgiu, em 1854, sendo, atualmente, conhecido como *Met Office*. Logo, tornou-se possível saber quais eram as condições atmosféricas, em diferentes lugares, ao mesmo tempo, permitindo-se a realização das primeiras previsões por cartas sinóticas. Porém, no início do século XX, Bjerknes defendeu a ideia de que seria possível a realização de previsões do tempo, numericamente, ou seja, aplicando-se as leis da matemática e da física para projetar as condições atmosféricas num estado futuro. Essa ideia foi se consolidando, ao longo das décadas seguintes, devido às contribuições de muitos pesquisadores. Dentre eles, cabe destacar Lewis Fry Richardson e Edward Lorenz, que é o criador da Teoria do Caos. Todavia, as previsões só se tornaram possíveis devido à invenção dos computadores. Por fim, a segunda metade do século XX foi marcada, principalmente, pela utilização de radares e satélites meteorológicos, o que possibilitou, aos meteorologistas, o acompanhamento da evolução dos sistemas sinóticos, assim como a elaboração de previsões de curto prazo por meio dos radares, técnica conhecida como *nowcasting*. Atualmente, há serviços de meteorologia, em todos os lugares do mundo, sendo este um trabalho colaborativo, entre todas as nações, e que é regido pelas normas e padrões da Organização Meteorológica Mundial (OMM), do inglês *World Meteorological Organization* (WMO).

Atualmente, devido ao grande volume de dados meteorológicos, é possível determinar, com grande precisão, quais são os climas encontrados nos mais diferentes lugares do globo. Mas no século XIX não era bem assim. Entretanto, foi nesse período que surgiram os primeiros mapas de isotermas e isoietas - linhas de mesma temperatura e precipitação, respectivamente. Alexander von Humboldt foi um dos pioneiros da climatologia, pois produziu um tratado sobre as temperaturas globais em 1817. Neste tratado, constavam mapas das temperaturas médias anuais para o Hemisfério Norte. Em 1882, Loomis produziu o primeiro mapa da precipitação mundial e em 1886 Bort publicou os primeiros mapas-múndi com a nebulosidade anual e mensal. Destacamos que, na década de 1870, Wladimir Koeppen começou a produzir mapas climáticos baseados na geografia vegetal. Já no século XX, surgiu outro método, o de Thornthwaite, que empregava as quantidades de evaporação

e precipitação observadas. Inevitavelmente, os métodos de Koeppen e Geiger foram combinados ao de Thornthwaite para melhor retratar as condições climáticas.

Assim, quando pensamos em meteorologia (tempo), devemos imaginar acontecimentos numa escala temporal de minutos, horas, dias e até semanas. Mas quando pensamos em clima, devemos imaginar um comportamento médio numa escala de décadas, preferencialmente, de 30 anos. Atualmente, questões como a variabilidade climática passaram a ser o objeto de estudo de muitos pesquisadores, que visam compreender as mudanças climáticas (natural e antropogênica). Importante registrarmos, ainda, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, do inglês IPCC, que é uma organização das Nações Unidas responsável por liderar os trabalhos sobre os impactos das mudanças climáticas, nas atividades humanas e no meio ambiente, sendo a redução das emissões de gases do efeito estufa sua principal bandeira no combate às mudanças climáticas.

Você sabia?

Lewis Fry Richardson e a previsão numérica do tempo

O interesse de Richardson pela **meteorologia** o levou a propor, no livro *Weather Prediction by Numerical Process* (1922), um método para a **previsão do tempo** por meio da solução numérica de **equações diferenciais**. Esse método ainda é utilizado, nos dias de hoje, embora, naquela época, computadores de alto desempenho ainda não estivessem disponíveis. Décadas mais tarde, quando recebeu a notícia, em 1950, da primeira previsão do tempo, realizada pelo primeiro computador eletrônico (**ENIAC**), Richardson respondeu que os resultados significavam um "enorme avanço científico". O ENIAC necessitou de quase 24 horas de cálculos para produzir a previsão do tempo para as próximas 24 horas.

Conheça Mais

Capitão Robert Fitzroy e o Met Office:

Disponível em <https://www.metoffice.gov.uk/research/library-and-archive/archive-hidden-treasures/robert-fitzroy>

3.3. Estações Meteorológicas

Uma estação é basicamente o local onde são instalados os instrumentos meteorológicos. Há diferentes tipos de estações: sinóticas, climatológicas, agrometeorológicas, aeronáuticas, convencionais, automáticas e especiais. Existem, ainda, aquelas montadas, provisoriamente, em áreas experimentais, registrando as condições de variáveis pré-selecionadas, exclusivamente, para uma pesquisa. Na figura, abaixo, constam fotografias da estação meteorológica instalada no campus Univasf em Juazeiro-BA. Essa estação faz medições de muitas variáveis, dentre elas: precipitação, temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica, velocidade do vento, radiação solar e temperatura do solo. Os dados são medidos e registrados por meio de um *datalogger*, fazendo-se medições a cada 2 segundos.

Figura 9 - Estação meteorológica do campus UNIVASF Juazeiro-BA. (A) Foto de alguns instrumentos e da área de instalação, (B) Foto de dentro do abrigo meteorológico expondo o *datalogger*, a bateria e o barômetro.



A



B

Fonte: LabMet.

+ Saiba Mais

Estação meteorológica convencional:

<https://www.monolitonimbus.com.br/estacao-e-instrumentos-meteorologicos/>

3.3.1. Termômetros

Existem diferentes modelos de termômetros e cada um com alguma finalidade específica, por exemplo: termômetro clínico, termômetros infravermelhos ou até os sensores de

temperatura do radiador de um carro. As aplicações e os modelos são variados como podemos observar na Figura 3.4 (a, b, c) mas, para a meteorologia, os modelos podem ser separados simplificadaamente entre convencionais e digitais, por exemplo: termômetro de máxima e de mínima, termômetro de bulbo seco e bulbo úmido ou sensores de temperatura (*Platinum Resistance Thermometer* – PRT) (Figura 10 (c, d, e)).

Figura 10 - (a) Termômetro clínico, (b) termômetro infravermelho, (c) e (f) sensores de temperatura, (d) termômetro de máxima e mínima, (e) termômetro de bulbo seco e úmido.



a



b



c



d



e



f

3.3.2. Barômetros

Os barômetros são responsáveis por medir a pressão e, assim como os termômetros, existem diferentes modelos e aplicações, por exemplo: manômetro e esfigmomanômetro. Enquanto o manômetro mede a pressão de um sistema hidráulico, o esfigmomanômetro é utilizado, por profissionais da saúde, para medir a pressão arterial, Figura 3.5 (a, b). Na meteorologia, os barômetros são importantes, principalmente, por indicarem mudanças das condições atmosféricas - iminência de precipitação. Os barômetros mais vendidos são analógicos e eletrônicos, Figura 11 (c, d).

Figura 11 - (a) Manômetro, (b) esfigmomanômetro, (c) barômetro analógico e (d) barômetro eletrônico.



a



b



c

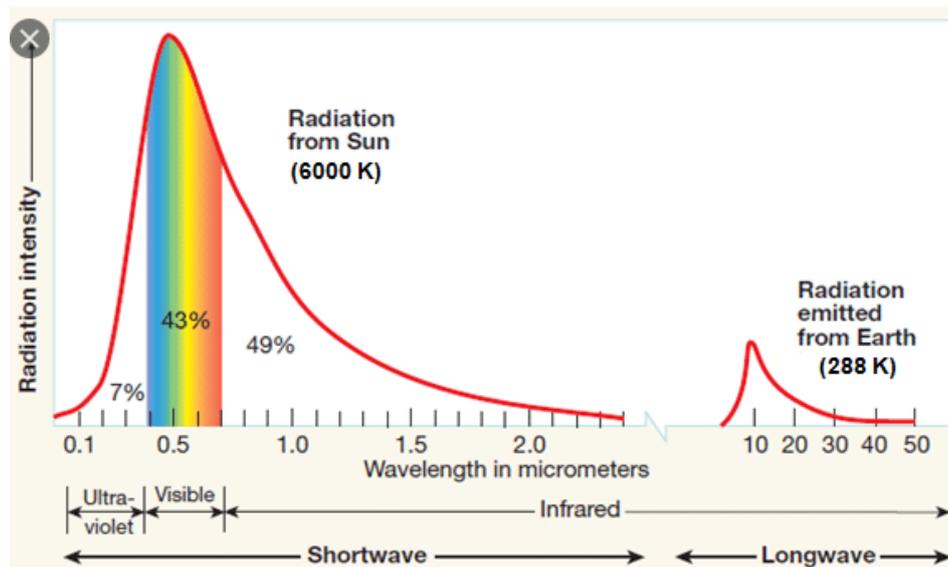


d

3.3.3. Radiômetros

Os radiômetros são instrumentos capazes de medir a quantidade de radiação eletromagnética, existindo vários tipos, mas, para meteorologia, podemos classificá-los em dois grupos: piranômetros e pirgeômetros. Alguns radiômetros (piranômetros) medem, apenas, a radiação de ondas curtas (Solar); já outros (pirgeômetros) medem, apenas, a radiação de ondas longas (atmosférica e terrestre). O espectro eletromagnético varia de acordo com a variação do comprimento de onda, como podemos observar na Figura 12. Na Figura 13 constam dois modelos de radiômetros que são amplamente utilizados pela meteorologia. No Capítulo 4, trataremos da radiação.

Figura 12 - Intensidade de radiação emitida pelo Sol e pela Terra em função do comprimento de onda.



Fonte: Hashim, Bassim & Al-Jiboori, Assist & Ahmed, Sami. (2016).

Figura 13 - Alguns modelos de radiômetros adotados na meteorologia(a) e (b) Piranômetro, (c) pirgeômetro e (d) Saldo radiômetro.

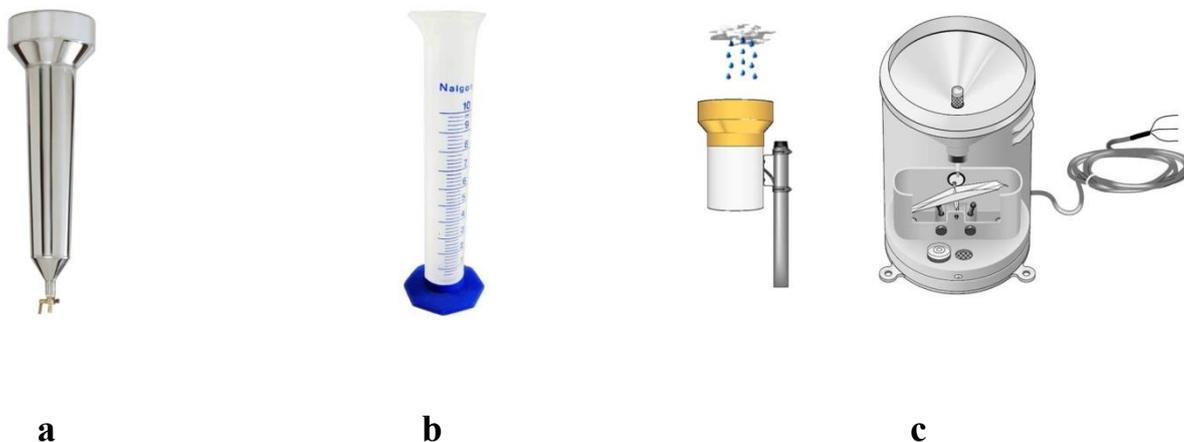


3.3.4. Pluviômetros

Os pluviômetros são os instrumentos responsáveis pela estimativa do volume de precipitação em um dado intervalo de tempo, podendo ser convencionais ou automáticos. Os convencionais captam e acumulam a precipitação em seu reservatório, sendo a medição realizada por meio de uma proveta específica de cada instrumento. Já os pluviômetros automáticos operam com um sistema basculante, que contabiliza o volume total a partir do

número de vezes em que a báscula troca sua posio. Veja na Figura 3.8 algumas imagens dos pluviômetros.

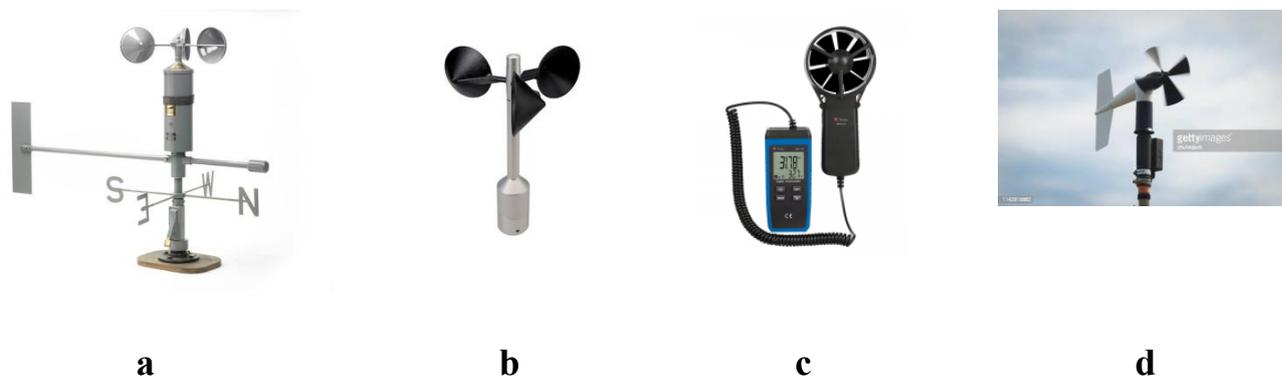
Figura 14 - Modelos de pluviômetros. (a) Pluviômetro Ville de Paris, (b) proveta, (c) pluvimetro basculante.



3.3.5. Anemmetro

Uma das variáveis mais importantes, em ciências atmosféricas,  a velocidade do vento. Os anemmetros são os equipamentos responsáveis por medir essa velocidade. Existem muitos modelos, com aplicaes diversas, extrapolando-se a questão meteorológica, como  o caso dos tubos de Pitot, que são amplamente utilizados na aviao. Muitos anemmetros também calculam a direo do vento, sendo a magnitude do vento fundamental para o setor de transportes e destacando-se os transportes marítimos. Neste sentido, no início do século XIX, o meteorologista Francis Beaufort criou uma escala de vento com as respectivas condies atmosféricas no mar e no solo. Retornando, na Figura 15, vemos alguns modelos de anemmetros adotados na meteorologia.

Figura 15 - Modelos de anemmetros. (a) Anemmetro e direo do vento, (b) anemmetro, (c) anemmetro compacto, (d) anemmetro e direo do vento.



Veja a escala de Beaufort:

Defesa civil de Santo André-SP:

<http://www3.santoandre.sp.gov.br/defesacivil/escala-de-beaufort/>

3.3.6. Dataloggers

Há algumas décadas, as estações meteorológicas passaram por um processo de modernização, tornando-se automáticas, portanto, capazes de operar sem a dependência de um observador meteorológico para a realização de leitura e registro de dados. Isto só foi possível devido ao constante avanço tecnológico de componentes eletrônicos, sobretudo, na área de computação. Atualmente, os equipamentos responsáveis pelas medições e registros dos dados são os *Dataloggers*, um tipo de microcontrolador capaz de operar, automaticamente, desde que seja previamente programado. Cabe ao pesquisador escolher os instrumentos meteorológicos que deseja instalar e, em seguida, programar o *datalogger* conforme as recomendações, do fabricante, inserindo constantes de calibração etc. Durante a instalação, o pesquisador deverá conectar os fios de cada um dos instrumentos nas portas correspondentes. Na Figura 16, estão alguns exemplos de *dataloggers* e o microcontrolador Arduino.

Figura 16 - (a) Abrigo meteorológico mais datalogger CR1000, (b) datalogger CR23X, (c) microcontrolador Arduino trabalhando como uma estação meteorológica.



a



b



c

3.4 Aplicações da meteorologia e climatologia

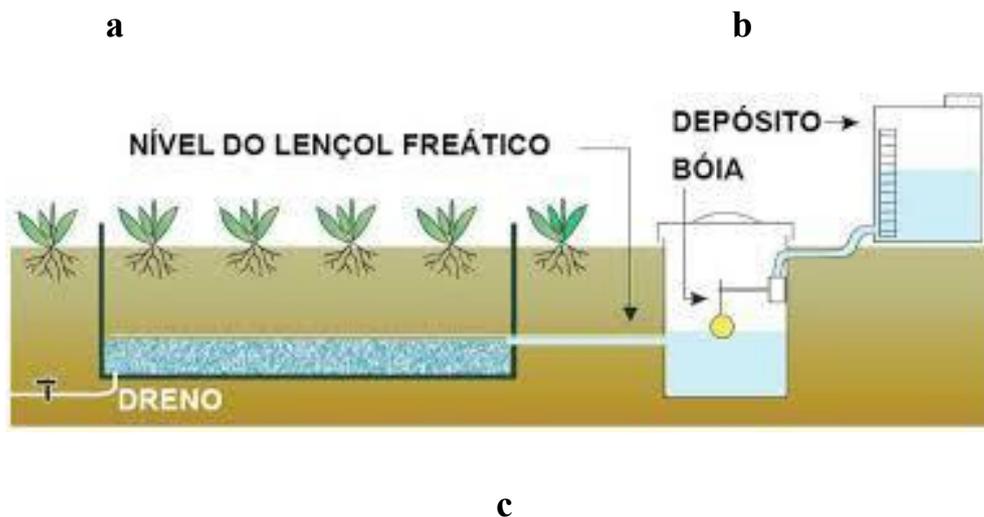
Uma importante aplicação da meteorologia é na agricultura, pois as condições de temperatura, umidade, evaporação, radiação, vento e chuva podem interferir, negativamente, no desenvolvimento de um cultivo. É necessário, portanto, a escolha da época do ano que apresenta condições meteorológicas ideais para o desenvolvimento da cultura. Certas espécies podem ser intolerantes ao frio, já outras, ao calor. Assim, inevitavelmente, é necessário conhecer a climatologia da região pretendida para o cultivo. Fatores como a latitude, continentalidade, altitude e relevo podem influenciar, de diferentes maneiras, as condições meteorológicas. Outro problema, que pode impactar o agricultor, é o surgimento de pragas, sendo que as condições meteorológicas podem intensificar a sua propagação na área cultivada. Na agricultura de precisão, a irrigação deve atender à demanda hídrica, de cada cultura, correspondendo ao estágio de desenvolvimento em que ela se encontra.

A redução da disponibilidade de água, no solo, ocorre tanto pela ação da própria atmosfera (evaporação), quanto pela absorção de água pelo sistema radicular da planta. O consumo hídrico de uma dada cultura deve ser contabilizado a partir da evapotranspiração, ou seja, pela soma da água que transpira das plantas e a evaporação da água do solo. Existem diferentes instrumentos e métodos para estimar a evaporação (Atmômetros e tanques), assim como a evapotranspiração (Lisímetros) como você pode ver nas fotos da Figura 17. Os pesquisadores costumam adotar o conceito de Evapotranspiração de referência (ET_o), que nada mais é do que a lâmina d'água de uma vegetação hipotética com 8 a 15 cm de altura. A ET_o é estimada a partir de diferentes variáveis meteorológicas - saldo de radiação, velocidade do vento, temperatura e umidade. O método mais adotado para estimar a ET_o é o de Penman-Monteith-FAO: se possuímos o valor da ET_o, basta conhecermos o valor do coeficiente da cultura (K_c) para, então, determinar a evapotranspiração da cultura (ET_c), conforme a equação 3.1.

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (3.1)$$

Figura 17 - (a) Tanque classe A e Atmômetro de Piche, (b) Sistema com lisímetros de lençol freático, (c) esquema demonstrando como um lisímetro de lençol freático trabalha.





Outras aplicações da meteorologia podem ser vistas em variados setores, por exemplo: transportes, turismo, entretenimento, esportes, construção civil, defesa civil, setor energético, recursos hídricos, serviço de inteligência, ações militares, economia etc. Na Figura 3.12 estão alguns exemplos dos efeitos das condições do tempo no nosso dia a dia. Cabe destacar a Figura 18-c, demonstrando o sistema Cantareira seco devido à escassez de chuvas, ocasionando restrições hídricas e energéticas à população do estado de São Paulo.

Figura 18 - (a) Efeitos de uma enchente numa cidade, (b) Pessoas reunidas sob chuva, (c) sistema cantareira seco, (e) embarcação enfrentando mar agitado.



a



b



c



d

Existem diferentes instituições públicas e privadas que oferecem serviços de previsão do tempo à população. Destacamos, aqui, o Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), o Centro Nacional de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), o Laboratório de Meteorologia da Univasf (LabMet), a empresa CLIMATEMPO, além de um site criado por Ivo Lukačovič, em 2014, chamado Windy. Pesquise por estas instituições/empresas, na internet, e tenha acesso às informações disponibilizadas, que compreendem não só serviços de previsão como também dados climáticos e meteorológicos.

Importantes aplicações, da climatologia, são as projeções climáticas, que visam simular mudanças ambientais e seus impactos a médio e longo prazo. As evidências apontam que a temperatura média global está subindo devido ao aumento da concentração de gases do efeito estufa, sobretudo, o dióxido de carbono (CO₂). Nos próximos capítulos, discutiremos as mudanças climáticas com mais aprofundamento.

Saiba Mais

Previsões sazonais (3 a 4 meses) do *International Research Institute for Climate and Society* da Universidade de Columbia (EUA):

IRI: <https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/seasonal-climate-forecasts/>

Vamos revisar?

Bom, vimos, ao longo desse Capítulo, um pouco sobre a história da meteorologia e da climatologia. Fomos capazes de entender a importância dos avanços tecnológicos, nas ciências atmosféricas, e vimos que a vida na Terra só é possível devido ao seu clima ameno. Discutimos, brevemente, aspectos das estações meteorológicas, dando-se ênfase a alguns instrumentos. Finalizamos expondo alguns exemplos de aplicações da Meteorologia e Climatologia.

Referências

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. Atmosfera, tempo e clima. 9. ed. Porto Alegre: Bookman. 2013.

HASHIM, B. M.; Al-JIBOORI, A.; AHMED, S. Evaluation the Effects of Industrial CO2 Emission on Climate Changes in Iraq. 2016. DOI: 10.13140/RG.2.2.12938.4192

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. Meteorologia Básica e Aplicações. 2a. ed. Viçosa: Editora UFV, 2012.

4. Impactos e Consequências do Desmatamento

Dr. Emerson Damasceno de Oliveira

O Brasil é reconhecido, no mundo, como um verdadeiro santuário da natureza, mas até que ponto isso é verdade? Sabemos que a maior parte do nosso território ainda permanece inexplorada, mas, também, sabemos que o Brasil vem se tornando um dos maiores exportadores de *commodities* do mundo, destacando-se a exportação agrícola (soja, café, laranja, milho e açúcar) e mineral (petróleo, etanol, metais). Assim, tendo-se em vista que a demanda global, por matéria prima, continuará crescendo, é inevitável uma aceleração da degradação do meio ambiente, no mundo, sobretudo, no Brasil. Destaca-se que o desmatamento gera sérios riscos à biodiversidade, compromete a captação natural de dióxido de carbono (CO₂), da atmosfera e agrava ainda mais as mudanças climáticas: aumento da temperatura do ar, alteração do ciclo hidrológico, desertificação de biomas, etc. Portanto, faz-se necessário migrarmos para um modelo econômico que seja norteado pela sustentabilidade, que garanta a preservação dos ecossistemas e preze pela reutilização de recursos naturais (reciclagem). Cabe evidenciar que, se o atual modelo de consumismo permanecer igual, o futuro - das próximas gerações, assim como a existência das demais formas de vida - estará ameaçado. Por fim, neste Capítulo serão abordados os impactos do desmatamento sobre o clima e a biodiversidade, dando-se ênfase aos biomas brasileiros, sobretudo, à Caatinga. Será introduzido, também, o conceito de balanço de energia, que é um modelo teórico da utilização do calor nos processos que regem o clima de uma dada área.

4.1 Biomas do Brasil

O Brasil é formado por seis biomas de características distintas: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal. Cada um desses ambientes abriga diferentes tipos de vegetação e de fauna. Como a vegetação é um dos componentes mais importantes da biota, seu estado de conservação e de continuidade definem a existência, ou não, de *habitats* para as espécies, a manutenção de serviços ambientais e o fornecimento de bens essenciais à sobrevivência de populações humanas. Para a perpetuação da vida nos biomas é necessário o estabelecimento de políticas públicas ambientais, a identificação de oportunidades para a conservação, o uso sustentável e a repartição de benefícios da biodiversidade.

Figura 19 - Biomas do Brasil.



Fonte: Nova Escola

4.1.1 Amazônia

A Amazônia é quase mítica: um verde e vasto mundo de águas e florestas, onde as copas de árvores imensas escondem o úmido nascimento, reprodução e morte de mais de 1/3 (um terço) das espécies que vivem sobre a Terra. A Amazônia é o maior bioma do Brasil: num território de 5.015.067,749 km², aproximadamente, 58,9% do território brasileiro (IBGE, 2020). Crescem, nesse bioma, cerca de 2.500 espécies de árvores - ou 1/3 (um terço) de toda a madeira tropical do mundo - e 30 mil espécies de plantas das 100 mil da América do Sul. A bacia amazônica é a maior bacia hidrográfica do mundo: cobre cerca de 6 milhões de km² e tem 1.100 afluentes. Seu principal rio, o Amazonas, corta a região para desaguar no Oceano Atlântico, lançando, ao mar, cerca de 175 milhões de litros d'água a cada segundo.

As estimativas situam a região como a maior reserva de madeira tropical do mundo. Seus recursos naturais que, além da madeira, incluem enormes estoques de borracha, castanha, peixe e minérios, por exemplo, representam uma abundante fonte de riqueza natural. A região abriga, também, grande riqueza cultural, incluindo o conhecimento tradicional sobre os usos e a forma de explorar esses recursos naturais sem esgotá-los nem destruir seu *habitat*.

Toda essa grandeza não esconde a fragilidade do ecossistema local, porém, a floresta vive a partir de seu próprio material orgânico e seu delicado equilíbrio é extremamente sensível a quaisquer interferências. Os danos causados pela ação antrópica são muitas vezes irreversíveis. Além disso, a riqueza natural da Amazônia se contrapõe, dramaticamente, aos

baixos índices socioeconômicos, da região, de baixa densidade demográfica e crescente urbanização. Desta forma, o uso dos recursos florestais é estratégico para o seu desenvolvimento.

Figura 20 - Compilação de imagens que retratam a fauna e a bacia do rio Amazonas. (a) Onça pintada, (b) Tucanuçu, (c) bacia do rio Amazonas e avanço do desmatamento.



a



b



c

Saiba Mais

Monitor de Queimadas na América do Sul, do Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (Inpe)

<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/mapas-mensais/>

4.1.2 Cerrado

O Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul, ocupando uma área de 2.036.448 km², aproximadamente, 22% do território brasileiro. A sua área contínua incide sobre os estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia,

Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal, além dos encaves no Amapá, Roraima e Amazonas. Neste espaço territorial, encontram-se as nascentes das três maiores bacias hidrográficas da América do Sul - Amazônica/Tocantins, São Francisco e Prata), o que resulta em um elevado potencial aquífero e favorece a sua biodiversidade.

O Cerrado apresenta extrema abundância de espécies endêmicas e sofre uma excepcional perda de *habitat*. Do ponto de vista da diversidade biológica, esse bioma é reconhecido como a savana mais rica do mundo, abrigando 11.627 espécies de plantas nativas já catalogadas. Existe uma grande diversidade de *habitats*, que determinam uma notável alternância de espécies entre diferentes fitofisionomias. Cerca de 200 espécies de mamíferos são conhecidas e a rica avifauna compreende cerca de 840 espécies. Os números de peixes (1200 espécies), répteis (180 espécies) e anfíbios (150 espécies) são elevados. O número de peixes endêmicos não é conhecido, porém, os valores são bastante altos para anfíbios e répteis: 28% e 17%, respectivamente. De acordo com estimativas recentes, o Cerrado é o refúgio de 13% das borboletas, 35% das abelhas e 23% dos cupins dos trópicos.

Além dos aspectos ambientais, o Cerrado tem grande importância social. Muitas populações sobrevivem de seus recursos naturais, incluindo etnias indígenas, quilombolas, geraizeiros, ribeirinhos, babaqueiras, vazanteiros e comunidades quilombolas que, juntas, fazem parte do patrimônio histórico e cultural brasileiro e detêm um conhecimento tradicional de sua biodiversidade. Mais de 220 espécies têm uso medicinal e mais 416 podem ser usadas na recuperação de solos degradados, como barreiras contra o vento, na proteção contra a erosão, ou para criar *habitat* de predadores naturais de pragas. Mais de 10 tipos de frutos comestíveis são regularmente consumidos pela população local e vendidos nos centros urbanos, como os frutos do Pequi (*Caryocar brasiliense*), Buriti (*Mauritia flexuosa*), Mangaba (*Hancornia speciosa*), Cagaita (*Eugenia dysenterica*), Bacupari (*Salacia crassifolia*), Cajuzinho do Cerrado (*Anacardium humile*), Araticum (*Annona crassifolia*) e as sementes do Barú (*Dipteryx alata*).

Contudo, inúmeras espécies de plantas e animais correm risco de extinção. Estima-se que 20% das espécies nativas e endêmicas já não ocorram em áreas protegidas e que, pelo menos, 137 espécies de animais que ocorrem no Cerrado estão ameaçadas de extinção. Depois da Mata Atlântica, o Cerrado é o bioma brasileiro que mais sofreu alterações com a ocupação humana. Com a crescente pressão para a abertura de novas áreas, visando incrementar a produção de carne e grãos para exportação, tem havido um progressivo esgotamento dos recursos naturais da região. Nas três últimas décadas, este bioma vem sendo degradado pela expansão da fronteira agrícola brasileira. Além disso, é palco de uma exploração extremamente predatória de seu material lenhoso para produção de carvão. Apesar do reconhecimento de sua importância biológica, o Cerrado é o bioma que possui a menor porcentagem de áreas sobre proteção integral, apresentando 8,21% de seu território legalmente protegido por unidades de conservação. Desse total, 2,85% são unidades de

conservação de proteção integral e 5,36% de unidades de conservação de uso sustentável, incluindo 0,07% de áreas de Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPNs).

Figura 21 - Imagens do Bioma Cerrado. (a) Desmatamento no cerrado, (b) Tamanduá bandeira, (c) Lobo guará, (d) vegetação típica do Cerrado.



a



b



c



d

4.1.3 Caatinga

A Caatinga ocupa uma área com cerca de 844.450 km², equivalendo a 11% do território brasileiro. Engloba os estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Piauí, Sergipe e o norte de Minas Gerais. Rico em biodiversidade, o bioma abriga 178 espécies de mamíferos, 591 de aves, 177 de répteis, 79 espécies de anfíbios, 241 de peixes e 221 abelhas. Cerca de 27 milhões de pessoas vivem, na região, a maioria carente e dependente dos recursos do bioma para sobreviver. A Caatinga tem um imenso potencial para a conservação de serviços ambientais, uso sustentável e bioprospecção que, se bem explorado, será decisivo para o desenvolvimento da região e do país. A sua biodiversidade ampara diversas atividades econômicas voltadas para fins agrosilvopastoris e industriais, especialmente, nos ramos farmacêutico, de cosméticos, químico e de alimentos. e à conversão para pastagens e agricultura. Frente ao avançado desmatamento, que chega a 46% da área do bioma, segundo dados do Ministério do Meio Ambiente (MMA), o governo brasileiro busca concretizar uma agenda de criação de mais unidades de conservação federais e estaduais, no bioma, além de promover alternativas para o uso sustentável da sua biodiversidade.

A origem do termo caatinga é tupi-guarani ka'á = mata e tinga = branca, o que caracteriza a paisagem no período de estiagem quando a vegetação perde as folhas e fica com um aspecto seco e esbranquiçado. Esse termo é aplicado ao conjunto paisagístico do sertão nordestino brasileiro que se estende pelo domínio de climas semiáridos. As formações que compõem a Caatinga abrangem uma área sob as latitudes subequatoriais compreendidas entre 2° 45' e 17° 21' de latitude sul. Sua área corresponde a 54% da Região Nordeste e a 11% do território brasileiro.

O clima na região apresenta uma longa estação seca e grande irregularidade pluviométrica. Por isso, a Caatinga exibe uma fisionomia de deserto, com índices pluviométricos muito baixos, em torno de 250 a 900 mm anuais. O domínio da Caatinga está inserido no interior da isoietas de 1.000 mm, porém, na maior parte desse domínio, chove menos de 750 mm anuais e, em algumas áreas centrais, menos de 500 mm, concentrados e distribuídos, irregularmente, em três meses consecutivos, no período de novembro a junho, apesar da alta variação anual e dos longos períodos de seca ser frequentes. No entanto, as vertentes a barlavento das serras e chapadas, especialmente, as situadas próximas da costa, recebem maior precipitação devido às chuvas de convecção forçadas que causam as chamadas chuvas orográficas ou de relevo. A presença de orvalho ao amanhecer, que cobre os solos, as rochas e a vegetação nos locais mais altos, fornece certa umidade ao solo, mesmo durante a estação seca, contribuindo para a manutenção da vegetação da área.

Não só a taxa de precipitação anual é mais baixa, como também as temperaturas, em geral, são mais altas, especialmente, durante os dias quentes e ensolarados do verão. As variações em temperatura são menos extremas durante a estação chuvosa. As médias anuais e mensais de temperatura variam pouco, na região, em torno de 26 °C, sendo mais afetadas pela altitude em que se observa uma diminuição no valor da temperatura nas altitudes acima de 500 m das serras e chapadas. Por outro lado, as variações diárias de temperatura e umidade são bastante pronunciadas, tanto nas áreas de planície como nas regiões mais altas do planalto. Esta grande variação local de temperatura e umidade, durante o dia, influencia bastante a vegetação destas áreas e é um dos fortes eventos a determinar a sua composição.

O relevo é representado pelo Escudo Nordestino aplainado e seu núcleo arqueado e falhado - a Borborema - com restos de cobertura sedimentar; pelas bacias sedimentares Paleo-mesozóicas do Piauí-Maranhão com os alinhamentos de encostas da Serra Grande-Ibiapaba e Chapadas do Sudeste do Piauí; a dorsal Baiana com a cobertura sedimentar da Chapada da Diamantina; as bacias mesozóicas do Araripe, Apodi, Jatobá, Tucano, Recôncavo e outras; e os Tabuleiros elaborados nos sedimentos Plio-pleistocênicos da Formação Barreiras, em suas grandes linhas.

A região se caracteriza por apresentar terrenos cristalinos praticamente impermeáveis e terrenos sedimentares que possuem boa reserva de água subterrânea. Os solos são pouco desenvolvidos, mineralmente ricos, pedregosos e pouco espessos e com baixa capacidade

de retenção da água, fator limitante à produção primária nessa região. A salinização do solo é, hoje, uma realidade, especialmente, na região onde os solos são rasos e a evaporação da água ocorre rapidamente devido ao calor.

A Caatinga possui espécies vegetais que apresentam adaptações à deficiência hídrica, como herbáceas anuais, suculentas, predominância de arbustos e árvores de pequeno porte, cobertura descontínua de copas que, em geral, perdem as folhas na estação seca (espécies caducifólias), além de muitas cactáceas. Esse bioma apresenta três estratos: arbóreo (8 a 12 metros), arbustivo (2 a 5 metros) e herbáceo (abaixo de 2 metros). Possui fisionomias que variam de formações florestais a formações compostas por arbustos esparsos e solos praticamente nus, podendo serem encontradas florestas de relevo - florestas perenifólias e subperenifólias dos brejos de altitude e encostas expostas aos fluxos úmidos de ar e de florestas semidecíduas -, florestas ripárias e os cerrados.

A vegetação é extremamente heterogênea, caracterizada pela presença de formações xerófilas - as caatingas - muito diversificadas por razões climáticas, edáficas, topográficas e antrópicas. São reconhecidos 12 tipos de caatingas que chamam atenção especial pelos exemplos fascinantes de adaptações aos hábitos semiáridos. A Caatinga é formada por um complexo de formas fisionômicas distribuídas em mosaico, como caatinga arbórea, caatinga arbustiva e caatinga espinhosa.

As suas diferenças fisionômicas se devem não apenas às variações climáticas regionais e locais e à composição florística, mas, sobretudo, a certos fatores estacionais, como compartimentação topográfica e fenômenos de exposição e abrigo, condições edáficas e dos impactos das atividades humanas. Já foram registradas 932 espécies de plantas vasculares, 187 de abelhas, 240 de peixes, 167 de répteis e anfíbios, 62 famílias e 510 espécies de aves e 148 espécies de mamíferos. O nível de endemismo varia de 3% nas aves (15 das 510 espécies) a cerca de 7% para mamíferos (10 de 148) e 57% em peixes (136 de 240). Existem 318 espécies endêmicas de plantas na região.

A Caatinga arbórea está restrita às manchas de solos ricos em nutrientes. As florestas mais úmidas, chamadas de brejos de altitude, estendem-se sobre as encostas e topos das chapadas e serras com mais de 500 m de altitude e recebem mais de 1.200 mm de chuvas orográficas. Existem mais de 30 brejos de altitude, na área da Caatinga, os quais são considerados refúgios florestais, uma vez que apresentam afinidade florística com as florestas da Mata Atlântica e Amazônia. O aspecto predominante da vegetação na paisagem durante a estação seca, quando a maioria das árvores perde as folhas, é o de troncos esbranquiçados e brilhantes. Essas espécies são predominantes em florestas, de porte mais robusto, que foram largamente destruídas - para a construção de casas, cercas e fazendas de gado - logo após a colonização europeia, já no início do século XVI.

Nos tempos atuais, a Caatinga arbórea é rara, esparsa e fragmentada. A paisagem é dominada por uma vegetação arbustiva, ramificada e espinhosa, com muitas euforbiáceas, bromeliáceas e cactáceas. As folhas e as flores são produzidas em um curto período de chuvas e a Caatinga permanece “dormente” durante a maior parte do ano. A vegetação herbácea também cresce somente durante as chuvas curtas e esparsas. As espécies vegetais que habitam essa área são, em geral, dotadas de folhas pequenas, uma adaptação para reduzir a transpiração. Algumas poucas espécies não perdem as folhas, na época seca, destacando-se o juazeiro (*Zizyphus joazeiro*, Figura 22), uma das plantas mais típicas desse ecossistema. Além de cactáceas, como *Cereus* (mandacaru e facheiro) e *Pilocereus* (xiquexique), a caatinga, também, apresenta muitas leguminosas (e.g., mimosa e acácia). No meio de tanta aridez, esse bioma surpreende com suas “ilhas de umidade” e solos férteis (enclaves). São os chamados brejos, que quebram a monotonia das condições ecogeográficas dos sertões. Nesses enclaves, é possível produzir quase todos os alimentos e frutas peculiares aos trópicos.

Figura 22 - (a) pé de Juazeiro, (b) Folhas de um Juazeiro.



a



b

A região é rica em biodiversidade, endemismos e bastante heterogênea, porém, estudos indicam uma região extremamente frágil. A flora dos sertões é constituída por espécies com longa história de adaptação ao calor e à seca, no entanto, é incapaz de se reestruturar naturalmente se máquinas forem usadas para alterar o solo. Toda essa biodiversidade corre perigo, pois somente 7,7% do bioma estão protegidos por unidades de conservação (UC), dos quais 1,2% estão protegidos por UC de proteção integral, e 6,5% por UC de uso sustentável. Até o presente momento, o desmatamento atinge mais de 46% da área total do bioma, sendo que as principais causas de degradação são o consumo de lenha nativa, explorada, em sua maior parte, de forma ilegal e insustentável, para fins domésticos, industriais, sobrepastejo e conversão de áreas naturais em áreas agrícolas e pastagens. Apesar de ser a única grande região natural brasileira, cujos limites estão inteiramente restritos ao território nacional, pouca atenção tem sido dada à conservação da variada e

marcante paisagem da Caatinga e a contribuição da sua biota à biodiversidade extremamente alta do Brasil tem sido subestimada.

Saiba Mais

Projeto: No Clima da Caatinga / Documentário: Caatinga

https://www.youtube.com/watch?v=sGcWlweCoZ8&ab_channel=noclimadacaatinga

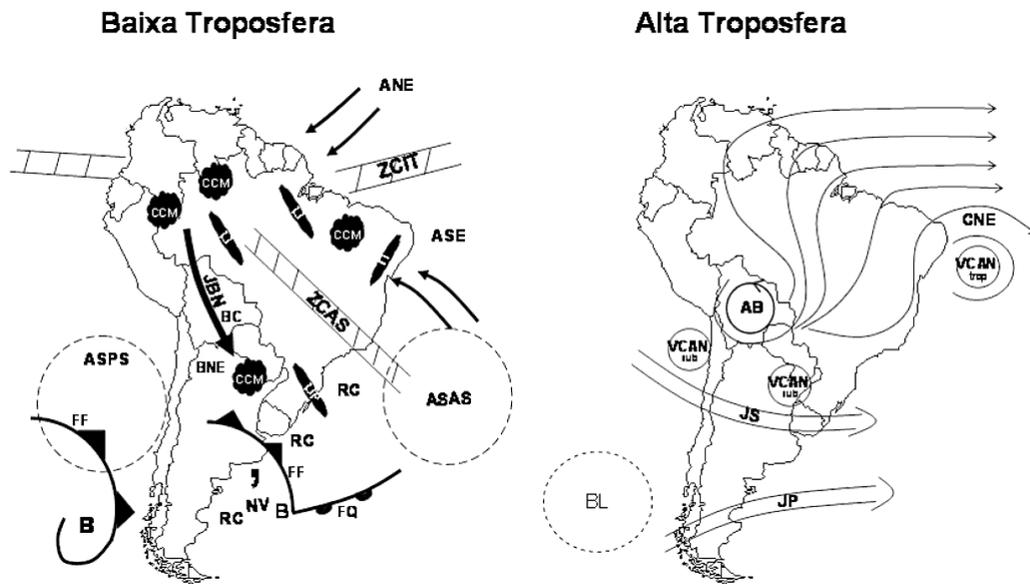
4.2 O clima no Semiárido

O clima brasileiro é caracterizado pela atuação de diferentes sistemas meteorológicos (Figura 23), sendo a região Nordeste afetada pelos seguintes sistemas: ventos Alísios de Sudeste (ASE), Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Linhas de Instabilidade (LI), Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) e resquícios de Frentes Frias (FF). Alguns destes sistemas atuam no entorno do semiárido: ZCIT mais ao norte, DOL ao Leste e as FF ao Sul e Sudoeste; contudo, os VCANs e os CCMs costumam atuar no interior do Nordeste.

ANE - Ventos Alísios de Nordeste
ASAS – Alta Subtropical do Atlântico Sul
B – Baixa Pressão
BNE – Baixas Térmicas da Argentina
FF – Frente Fria
JBN – Jato de Baixos Níveis
LIP – Linhas de Instabilidade Pré-Frontal
RC – Regiões Ciclogénicas
ZCIT – Zona de Convergência Intertropical
BL – Região de Bloqueio Atmosférico
JS – Jato Subtropical
VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

ASE – Ventos Alísios de Sudeste
ASPS – Alta Subtropical do Pacífico Sul
BC – Baixa do Chaco
CCM – Complexo Convectivo de Mesoescala
FQ – Frente Quente
LI – Linhas de Instabilidade
NV – Nuvem Vírgula
ZCAS – Zona de Convergência da América do Sul
AB – Alta da Bolívia
CNE – Cavado do Nordeste do Brasil
JP – Jato Polar

Figura 23 - Representação esquemática dos Sistemas Atmosféricos na baixa e alta troposfera atuantes na América do Sul.

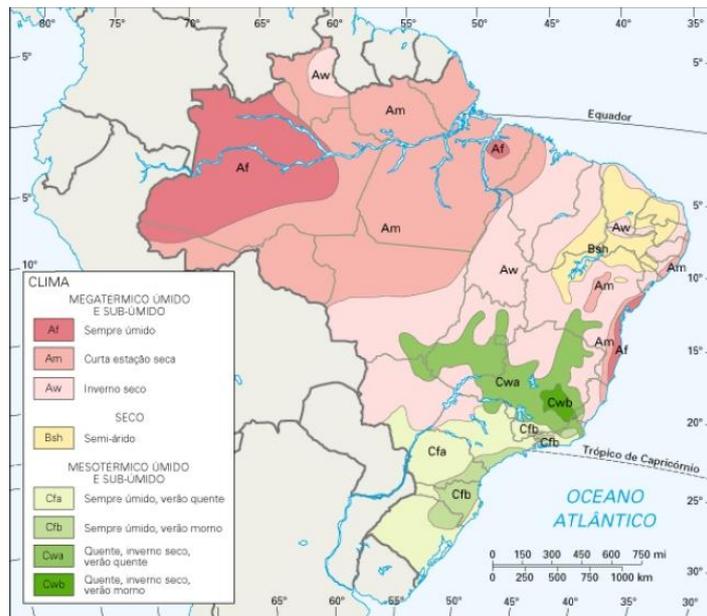


Fonte: Satyamurty et al., 1998; pg. 125.

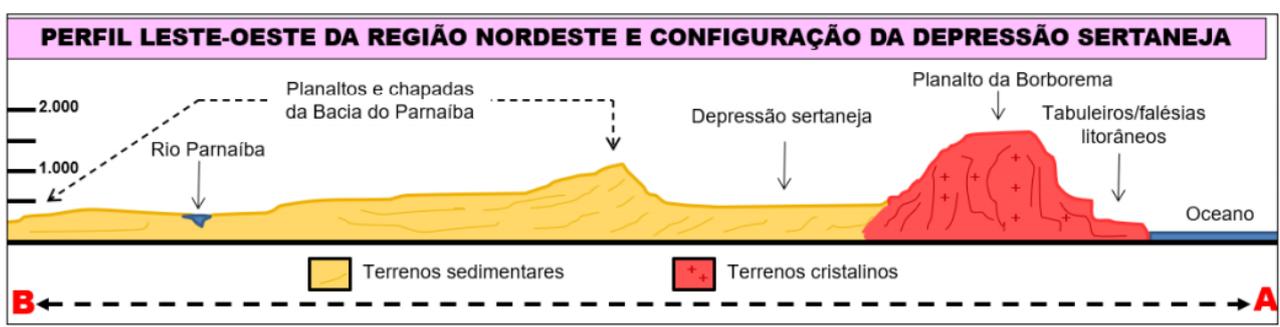
A classificação climática de Koeppen, para o Brasil, demonstra que, para o bioma Caatinga, há o predomínio dos climas Semiárido (Bsh) e Inverno seco (Aw) (Figura 4.4a). Deste modo, as ações de desmatamento, sobre esse bioma, devem ser tidas como irrecuperáveis devido ao baixo índice pluviométrico. Já as regiões com climas “sempre úmidos” (Af) e “curta estação seca” (Am) apresentam grandes chances de regeneração espontânea da sua mata nativa após o desflorestamento. O principal motivo para a Caatinga apresentar baixos índices anuais de chuva se dá pela ação do relevo, destacando-se os planaltos da Borborema e os planaltos e chapadas da Bacia do Parnaíba (Figura 4.4b).

Resumidamente, os Ventos Alísios trazem ar úmido e fresco do Oceano Atlântico, porém, quando chegam ao continente acabam encontrando o Planalto da Borborema, ocorrendo-se convecção forçada que resulta em chuva orográfica. Assim, após a ocorrência de chuva, calor latente é liberado à atmosfera a sotavento do Planalto da Borborema (a depressão sertaneja), o que faz o semiárido receber um ar seco e quente, também, conhecido como Vento *Foehn* (Figura 24c).

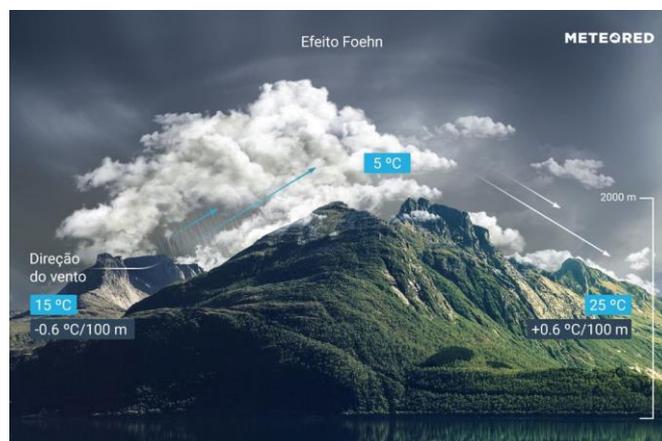
Figura 24 - (a) Classificação climática do Brasil segundo Koeppen, (b) perfil Leste-Oeste do relevo da região Nordeste, (c) Vento Foehn.



a



b



c

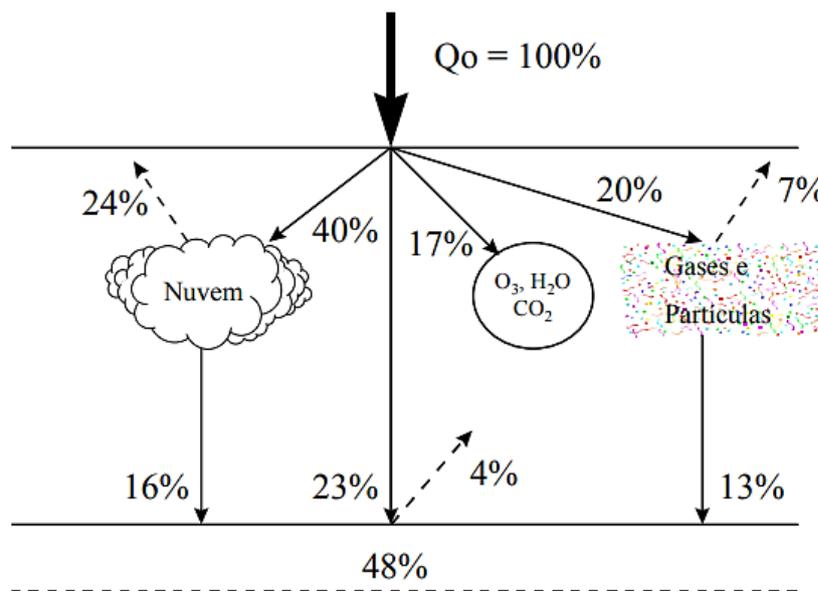
4.3 Balanço de energia

A radiação solar, que chega ao topo da atmosfera terrestre (Q_0), passa por diferentes processos, sendo 31% refletida de volta para o espaço por causa do albedo (coeficiente de reflexão). Dos 69% restantes: 17% são absorvidos pela atmosfera (H_2O , O_3 , CO_2); e chegam à superfície 52% Q_0 (radiação direta e difusa), sendo que 4% são refletidos de volta para a atmosfera. Na Figura 4.5 é possível ver um esquema - saldo de radiação de ondas curtas - que resume os processos descritos. Em qualquer local da superfície terrestre - cobertura vegetada, superfície líquida, área urbana etc.- a energia disponível, para os processos biológicos e/ou físicos que neles ocorrem, depende não somente desse balanço de ondas curtas, visto que todos os corpos terrestres são também emissores de energia radiante, mas com um espectro de comprimento de ondas longas ($> 3.000 \text{ nm}$).

Para cada instante haverá um balanço de radiação que é característico da superfície: solo coberto por vegetação ou por qualquer material, solo nu, superfície líquida, animal etc. Esse balanço de radiação R_n - chamado também de saldo de radiação ou radiação líquida - é composto do Balanço de Ondas Curtas (BOC) e do Balanço de Ondas Longas (BOL), podendo ser representado por:

$$R_n = BOC + BOL \quad (4.1)$$

Figura 25 - Representação esquemática do saldo de radiação de Ondas Curtas.

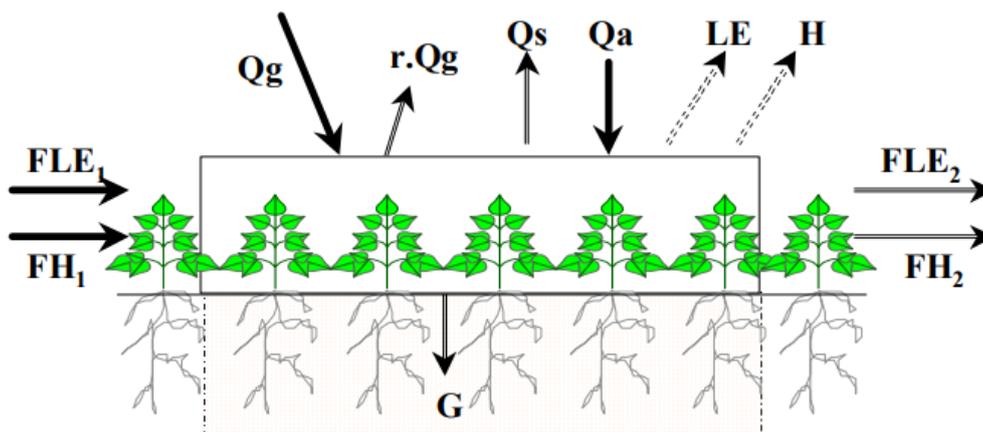


Fonte: Pereira, Angelocci e Sentelhas (2007).

A essência do conceito de balanço de energia está na afirmação de que a diferença entre a energia que entra e a energia que sai, de um sistema, é a energia captada ou utilizada por ele. Nos sistemas vegetados, essa energia captada pode ser utilizada no aquecimento do ar

e das plantas (H, calor sensível), no aquecimento do solo (G), na evapotranspiração (LE, calor latente) e nos processos de sínteses biológicas (F, fotossíntese). A quantidade de energia que chega à superfície é determinada pela radiação solar incidente e pela radiação atmosférica, porém, a energia armazenada, no sistema, será determinada pelo tipo de cobertura, variando com o coeficiente de refletividade, que é função da coloração e da rugosidade (Figura 26).

Figura 26 - Esquema do balanço de energia de um sistema vegetado, no período de um dia.



Fonte: Pereira, Angelocci e Sentelhas (2007).

Sendo Q_g a irradiância solar global; $r.Q_g$ a irradiância solar refletida; Q_s a emissão de radiação pela superfície; Q_a a emissão de radiação pela atmosfera; H o fluxo convectivo de calor sensível; LE o fluxo convectivo de calor latente; G o fluxo por condução de calor no solo; FH o fluxo advectivo de calor sensível; FLE o fluxo advectivo de calor latente; ΔH o armazenamento de calor sensível; ΔLE o armazenamento de calor latente; e ΔF a energia fixada em sínteses biológicas (Fotossíntese). Os fluxos advectivos referem-se às trocas laterais (no sentido horizontal predominante dos ventos).

Nas situações em que se pode considerar desprezível a variação de fluxos advectivos e de armazenamento de calor, isto é, uma área com extensa bordadura, e sabendo-se que a fração percentual de R_n usada na fotossíntese (ΔF) é menor que 3%, tem-se a fórmula simplificada do balanço de energia:

$$R_n \approx H + LE + G \quad (4.2)$$

O balanço de energia possui diferentes aplicações, tanto na agricultura quanto na climatologia. Ressalta-se que esse modelo conceitual é um forte aliado de pesquisadores para compreensão dos efeitos do calor sobre uma superfície, permitindo entender as consequências do desmatamento sobre uma determinada área. Intuitivamente, sabemos que após a remoção da vegetação, mais radiação solar atingirá diretamente o solo e, portanto, espera-se que ocorra um aumento do fluxo de calor no solo (G) e consequente aumento da

temperatura do solo, assim como do ar superficial (fluxo de calor sensível, **H**). A perda de vegetação, também, afeta a retenção de água, pelo solo, podendo a água da chuva percolar ou infiltrar (dependendo do tipo de solo). Desse modo, é esperada uma variação do fluxo de calor latente (**LE**) entre uma área vegetada e com solo nu.

4.4 O Desmatamento e o Clima

As florestas são fundamentais para a manutenção do equilíbrio no meio ambiente e para a estabilidade climática, exercendo papel fundamental para regulação da temperatura e da umidade. Elas liberam oxigênio e sequestram carbono da atmosfera, durante o processo de fotossíntese, além de armazenarem grandes quantidades de carbono nas raízes, caules e folhas. O ciclo hidrológico é fortemente influenciado pela presença de vegetação, regulando o curso dos rios, topografia e quantidade de matéria orgânica no solo. Quando ocorre o desmatamento e as queimadas, todo o dióxido de carbono retido pela mata será liberado para atmosfera. Ressalta-se que não é apenas o CO₂ que é devolvido para atmosfera, mas também o Metano e o *Black Carbon*. As florestas também liberam, naturalmente, aerossóis primários que, na atmosfera, interagem com o dióxido de enxofre (SO₂) e óxido de nitrogênio (NO_x), formando os aerossóis secundários que são partículas aglutinadoras de vapor d'água, essenciais para a formação de nuvens e precipitação.

O desflorestamento tem grande impacto sobre o clima e, também, sobre a biodiversidade. Práticas como o extrativismo mineral, exploração pecuária e a agricultura devem ocorrer de forma sustentável, visando ter o mínimo impacto sobre as nossas matas nativas. Na década de 90, foi revelado que a Amazônia estava passando por um processo de savanização, ou seja, estava se transformando em Cerrado devido à prática de monoculturas, degradação da vegetação, desmatamento e queimadas. A ocorrência do fenômeno Voçoroca - grandes buracos no solo por erosão - está se tornando mais frequente, devido ao desmatamento, deixando o solo sem vegetação e permitindo que as águas das chuvas (enxurradas) tornem o solo infértil. Outra consequência da Voçoroca é o assoreamento dos rios. Portanto, é fundamental o uso consciente do território para plantio e pastagem, preservando grandes áreas de florestas e as matas ciliares.

Outro impacto importante do desmatamento sobre o clima pode ser entendido a partir do conceito de **rios voadores** - cursos de água atmosféricos - formados por massas de ar, carregadas de vapor de água, muitas vezes, acompanhados por nuvens, e são lançados pelos ventos. Essas correntes de ar invisíveis passam em cima das nossas cabeças carregando umidade da Bacia Amazônica para o Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil. Essa umidade, nas condições meteorológicas propícias, como uma frente fria vinda do Sul, por exemplo, transforma-se em chuva. É essa ação de transporte de enormes quantidades de vapor de água, pelas correntes aéreas, que recebe o nome de rios voadores: um termo que descreve, perfeitamente, mas em termos poéticos, um fenômeno real que tem um impacto significativo em nossas vidas.

A floresta amazônica funciona como uma bomba d'água. Ela puxa, para dentro do continente, a umidade evaporada pelo Oceano Atlântico e carregada pelos Ventos Alísios. Ao seguir, terra adentro, a umidade cai como chuva sobre a floresta. Pela ação da evapotranspiração das árvores, sob o sol tropical, a floresta devolve a água da chuva para a atmosfera na forma de vapor de água. Dessa forma, o ar é sempre recarregado com mais umidade, que continua sendo transportada, rumo ao oeste, para cair novamente como chuva mais adiante. Propelidos em direção ao oeste, os rios voadores - massas de ar - recarregados de umidade, boa parte dela proveniente da evapotranspiração da floresta, encontram a barreira natural formada pela Cordilheira dos Andes. Eles se precipitam, parcialmente, nas encostas leste da cadeia de montanhas, formando as cabeceiras dos rios amazônicos. Porém, barrados pelo paredão de 4.000 metros de altura, os rios voadores, ainda transportando vapor de água, fazem a curva e partem em direção ao sul, rumo às regiões do Centro-Oeste, Sudeste e Sul, do Brasil, e aos países vizinhos. É assim que o regime de chuvas e o clima do Brasil são afetados por um acidente geográfico localizado fora do país! A chuva, claro, é de suma importância para nossa vida, nosso bem-estar e para a economia do país. Ela irriga as lavouras, enche os rios terrestres e as represas que fornecem nossa energia.

Figura 27 - Esquema dos quatro passos dos rios voadores na América do Sul.



Fonte: VIX

Saiba Mais

Vídeo sobre o “Grande Nevoeiro de 1952”

https://www.youtube.com/watch?v=K0_YxGNIIsXA&ab_channel=IntegrandoConhecimento

Savanização

https://www.youtube.com/watch?v=K0_YxGNIIsXA&ab_channel=IntegrandoConhecimento

Lembrete

Energia de uma floresta x uma área de pastagem

Na tese de doutorado, de Gunter A. Reschke, foi estudado o balanço de energia numa área de floresta e numa área desmatada que foi convertida em pastagem. O autor observou uma grande variação entre o microclima de floresta e de pastagem, especialmente, durante a estação seca. A área de pastagem tende a apresentar maiores amplitudes diárias da temperatura do ar, maiores déficits de pressão de vapor, maiores albedos e menores saldos de radiação do que a área de floresta. A partição da energia disponível expressa pela razão de Bowen - calor sensível por calor latente - variou na estação seca de 0,26 na floresta a 0,30 na pastagem, enquanto na estação chuvosa a variação foi de 0,21 na floresta a 0,31 na pastagem. O fluxo de calor no solo foi praticamente insignificante, na floresta, representando um percentual inferior a 1% do saldo de radiação. Na área de pastagem, o fluxo de calor no solo variou de 3,4% do saldo de radiação na estação chuvosa a 7,6% do saldo de radiação na estação seca. Com base em resultados, ao meio-dia, verificou-se, na estação chuvosa $LE = 0,67R_n$, em ambas as áreas experimentais, ao passo que na estação seca obteve-se $LE = 0,65R_n$ para a pastagem e $LE = 0,68R_n$ para a floresta.

Link: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/11463>

Vamos revisar?

Aprendemos, ao longo deste Capítulo, um pouco sobre os biomas da Amazônia, Cerrado e Caatinga, dando-se um enfoque à Caatinga. Vimos que a Caatinga é o bioma brasileiro menos protegido e aprendemos que diferente da Amazônia, tem baixa capacidade de se regenerar após o desmatamento. Também, aprendemos, um pouco, sobre os sistemas meteorológicos que atuam no Nordeste, explicando-se o porquê de o clima ser predominantemente semiárido na região. E, ainda, vimos o conceito de balanço de energia e sua aplicação em áreas de floresta e de pastagens.

Referências

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, tempo e clima**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman. 2013.

HASHIM, BASSIM & AL-JIBOORI, ASSIST & AHMED, SAMI. **Evaluation the Effects of Industrial CO2 Emission on Climate Changes in Iraq**, 2016. DOI: 10.13140/RG.2.2.12938.41927.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola**. Universidade Federal de São Paulo, 2007.

VIANELLO, R. L e ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**, 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2012.

5. Circulação Atmosférica e os Sistemas que Geram Chuvas no Nordeste

Você já pensou sobre o papel que o vento desempenha ao proporcionar o deslocamento do ar, na atmosfera, e como isso pode impactar com ocorrências ou inibição de chuvas? Você sabe que o clima na região Nordeste é muito influenciado pela temperatura da superfície das águas dos oceanos e que os eventos El Niño, La Niña e Dipolo Norte-Sul podem resultar em cenários favoráveis ou desfavoráveis à ocorrência de chuvas nesta região e em outras partes do Brasil e do nosso planeta? Pois bem! Todas essas questões serão abordadas neste Capítulo! Esperamos que o conteúdo seja interessante e que contribua para o seu aprendizado!

5.1. A circulação geral da atmosfera terrestre

A **circulação atmosférica** é o processo de movimentação do ar ou das massas de ar, ocasionado pelas diferenças de pressão e temperatura reinantes na atmosfera terrestre. O mecanismo básico, para que ocorra essa movimentação do ar, dá-se da seguinte forma: como o ar mais frio é mais pesado, ele tende a descer; já o ar quente, como é mais leve, tende a subir, o que propicia a movimentação e geração dos ventos. Por outro lado, movimentações de ar também ocorrem das áreas de alta pressão atmosférica para as áreas de baixa pressão atmosférica. Ou seja, o ar nas regiões de alta pressão atmosférica é forçado a se deslocar para as regiões de baixa pressão atmosférica. Como consequência, o tempo é estável - céu limpo -, sob áreas de alta pressão atmosférica, e instável, sob áreas de alta pressão atmosférica com céu nublado ou tempo chuvoso.

Como os raios solares atingem a Terra de forma diferenciada, ao longo de sua extensão, isso gera a dinâmica da movimentação das massas de ar no nosso planeta. Essa movimentação no sentido latitudinal - do equador para os polos e dos polos para o equador - gera a **formação de três células atmosféricas: a célula de Hadley ou célula Tropical, a célula de Ferrel e a célula Polar.**

A ocorrência dos diferentes padrões climáticos existentes, ao redor do planeta, a presença dos desertos, os ventos alísios, jatos de altos níveis - ventos fortes -, áreas de alta e baixa pressão, todos esses fenômenos são gerados pela circulação da atmosfera. Neste contexto, dois fatores são fundamentais para esse fenômeno: o movimento de rotação da Terra e a energia proveniente do sol, que incide de forma diferenciada devido à inclinação do eixo da Terra.

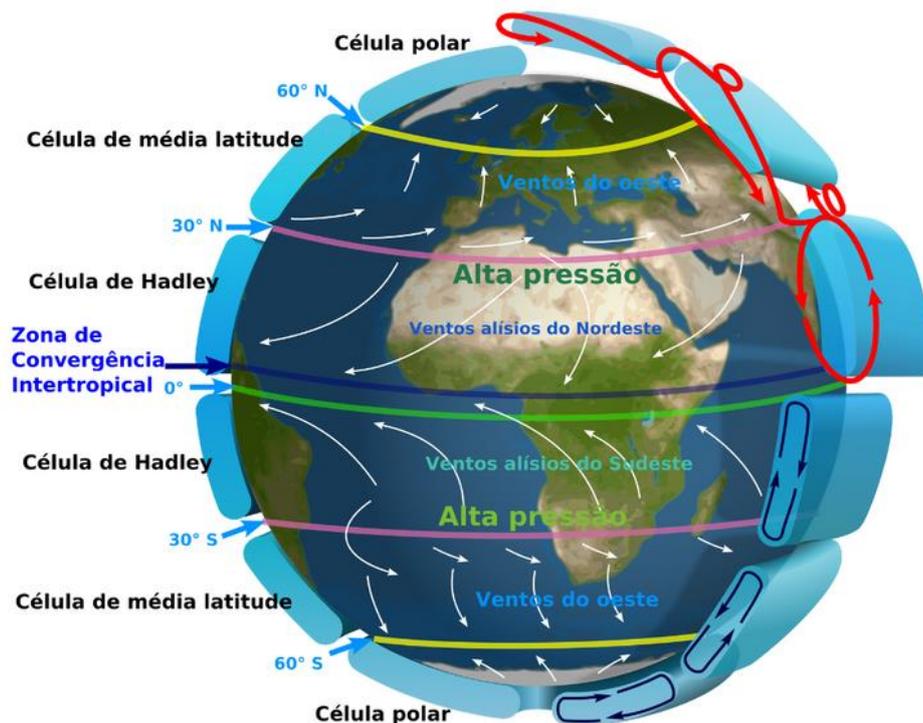
O sol é a principal fonte de energia do nosso planeta. A energia solar, ao penetrar na atmosfera da Terra, é absorvida, refletida, difundida e transmitida para a superfície e de

volta para o espaço. Desta forma, interage com as nuvens, gases atmosféricos, aquecendo a atmosfera e a superfície terrestre. Porém, essa energia não é distribuída de forma igualitária sobre o globo - devido à inclinação de 23º 27', do eixo de rotação da Terra, associado ao movimento de translação que a Terra faz em torno do Sol. Portanto, dependendo da época do ano, a Terra, ao ocupar uma posição em seu movimento de translação, conforme foi mostrado no Capítulo 1, incidirá maior ou menor quantidade de radiação solar sobre as regiões da Terra.

Como as regiões tropicais da Terra recebem maior incidência de energia solar, conseqüentemente, nelas ocorrem maior aquecimento, enquanto os polos recebem menos energia. Deste modo, ocorre uma significativa variação de temperatura entre os polos e as regiões tropicais, assim, essa diferença de temperatura gera um padrão de circulação atmosférica no globo terrestre.

A circulação atmosférica pode ser descrita, de forma geral, como sendo um sistema global de ventos que proporciona o transporte de calor entre a região tropical e as regiões polares, conforme a Figura 28.

Figura 28 - Mostra como o vento circula em cada hemisfério, tanto na superfície como em altitude.



Em cada hemisfério existem três células (célula de Hadley, célula de Ferrel e célula polar) nas quais o ar circula por toda a profundidade da troposfera - extensão vertical da atmosfera, a partir da superfície, até 10 a 15 km de altura, em que a maior parte dos

fenômenos de tempo ocorrem. Como resultado da rotação da Terra, **cada célula tem ventos dominantes associados a ela**, e, também, temos fluxos de jato, todos influenciados por algo chamado efeito de Coriolis. *O efeito de Coriolis é uma pseudo-força que muda a direção dos ventos em cada hemisfério* - para a direita no hemisfério norte e para a esquerda no hemisfério sul. Isso explica por que o ar se move em uma determinada direção em torno de uma área de baixa pressão e por que existem ventos alísios. As três células mencionadas, anteriormente, serão descritas a seguir

5.1.1. Célula de Hadley

São as maiores células e se estendem do equador até 30 graus norte e sul. São denominadas células de Hadley, em homenagem ao meteorologista inglês George Hadley. **Dentro das células de Hadley, os ventos alísios sopram em direção ao equador em ambos os hemisférios.** Ao se encontrarem, convergem e ascendem como uma linha de nuvens de tempestades, que forma a **Zona de convergência Intertropical (ZCIT)**. Do topo, dessas tempestades, **o ar flui para latitudes mais altas, onde afunda e produz regiões de alta pressão** sobre os oceanos subtropicais e os desertos quentes, do mundo, como o deserto do Saara no norte da África.

5.1.2. Célula de Ferrel

Nas células de latitudes médias, conhecidas como células Ferrel, **o ar converge, em baixas altitudes - por volta de 60 graus de latitude norte e sul -, e ascende ao longo das fronteiras de ar frio polar e ar subtropical quente.** A circulação dentro da célula de Ferrel é complicada devido a um fluxo de retorno do ar em altas altitudes, em direção aos trópicos, onde se junta ar afundando da célula de Hadley. A célula de Ferrel se move na direção oposta as outras duas células (célula de Hadley e célula Polar) e age como uma engrenagem.

5.1.3. Célula Polar

As células menores e mais fracas são as células polares, que se estendem, entre 60 e 70 graus norte e sul, até os Polos. **O ar nessas células é descendente nas latitudes mais altas e ao atingir a superfície flui para as latitudes mais baixas.**

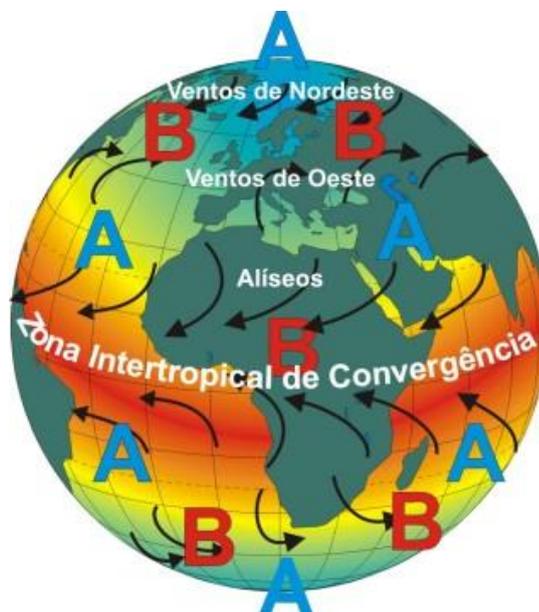
! Saiba mais

O texto acima tomou como base a matéria produzida por *Davi Moura*, Bacharel em Meteorologia pela Universidade Federal de Alagoas em 2014 e mestre pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em 2016. Atualmente, *Davi Moura* é doutorando no INPE, com período sanduíche pelo Max Planck-Institute Für Meteorologie, na Alemanha. A referida matéria pode ser encontrada na internet no endereço que segue:

- <https://www.tempo.com/noticias/ciencia/circulacao-geral-da-atmosfera-terrestre.html>
- <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/circulacao->

Na Figura 29., pode ser observado como os ventos atuam, na superfície terrestre, bem como a posição média dos centros de alta pressão (A) e de baixa pressão (B). Em geral, nas áreas de baixa pressão, o ar é úmido e ascendente o que contribui para a formação de nuvens e geração de chuvas. Mas, nas áreas de alta pressão, o ar seco e descendente, contribui para inibição da formação de nuvens, conseqüentemente, não ocorre a formação de nuvens, logo, não ocorre chuva.

Figura 29 - Distribuição dos ventos e posição média dos centros de baixa e alta pressão.



5.2. Sistemas que trazem chuvas para o Nordeste

O conteúdo a seguir foi produzido pelo Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites (Lapis), convidando-nos a entender **os 5 principais fenômenos que induzem chuvas, no Nordeste, durante o verão.**

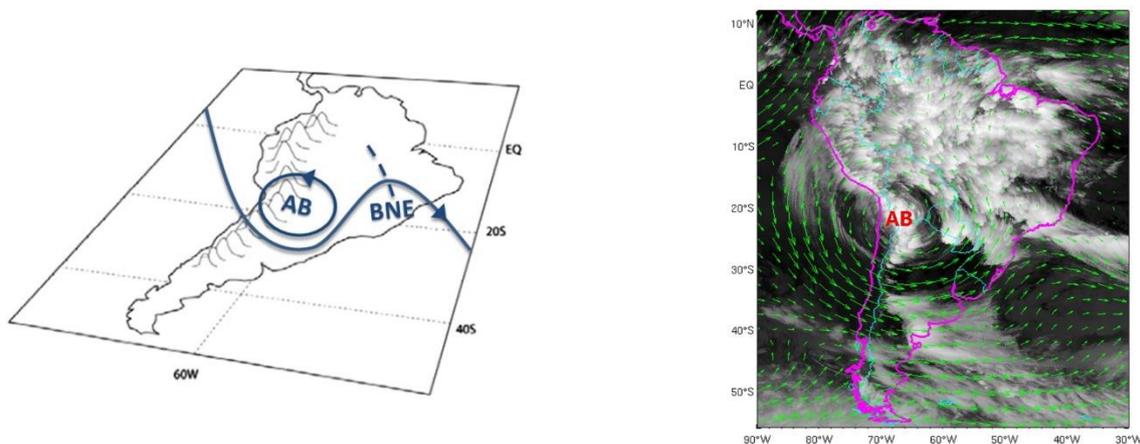
O clima na região Nordeste é muito influenciado pela temperatura da superfície das águas dos oceanos. Sabe-se que o cenário não é favorável à ocorrência de chuvas, **quando se tem um evento El Niño, no Pacífico equatorial**, e, estabelece-se um Dipolo no Atlântico: temperaturas das águas mais frias na área ao Sul do equador e mais quentes na área ao Norte do equador.

5.2.1. A Alta da Bolívia

A Alta da Bolívia é um **anticiclone que ocorre exclusivamente na alta troposfera, durante o verão**, sobre a América do Sul. Ele gera uma grande circulação de massas de ar, em sentido anti-horário, variando a sua posição entre o Peru, a Bolívia, o Mato Grosso, o Mato Grosso do Sul e o Paraguai. No mapa, acima, a sigla AB indica onde está localizado o centro do **anticiclone**.

A Alta da Bolívia é **um sistema térmico gerado em função da liberação de forte calor, na superfície terrestre**, sobre o Altiplano Boliviano, na época do verão. Esse giro anticiclônico provoca a convergência de ventos úmidos, nos níveis superficiais da atmosfera, **favorecendo a formação de nuvens carregadas e provocando chuvas**. Esse anticiclone domina a circulação dos ventos, em todo o Brasil, mantendo áreas de instabilidade em várias regiões e se encontra sobre a parte central da América do Sul, estando **associado, a ele, a formação de um Cavado, no Nordeste brasileiro, que influencia o tempo na região.**

Figura 30 – Formação de um Cavado



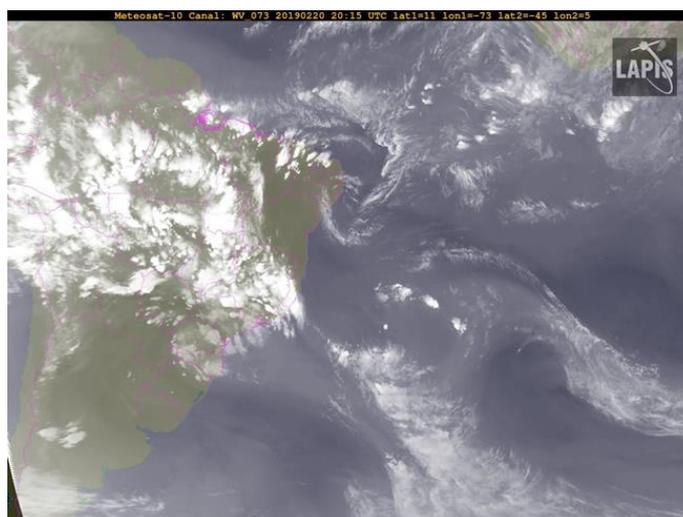
5.2.2. Cavado do Nordeste

A Alta da Bolívia interage com outros sistemas! O padrão de circulação das massas de ar, durante o verão, indica que, corrente abaixo da Alta da Bolívia, forma-se uma **circulação ciclônica em altitude, com movimento em sentido horário**. Assim, o anticiclone que se forma sobre a Bolívia é acompanhado de um cavado proeminente, no Nordeste do Brasil, conhecido como Cavado do Nordeste ou Baixa do Nordeste (BNE). Portanto, existe uma interação direta entre a Alta da Bolívia e o Cavado do Nordeste, com uma **correlação significativa entre a intensidade dos dois fenômenos**. O Cavado do Nordeste também varia de posição e intensidade ao longo do verão. Seu efeito mais marcante é o movimento descendente de massas de ar, em baixos níveis, sobre a região.

5.2.3. Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN)

Como discutido acima, durante o verão, a circulação troposférica em altos níveis, sobre a América do Sul, é caracterizada pela **presença da Alta da Bolívia e de um Cavado profundo**, ciclone que se forma corrente abaixo, sobre o Nordeste do Brasil e o oceano Atlântico Sul. **Com certa frequência, o Cavado se fecha, configurando um Vórtice Ciclônico em Altos Níveis (VCAN)**. Esse sistema forma-se, na vizinhança do Nordeste brasileiro, em função da intensificação simultânea da crista associada à Alta da Bolívia, que, também, torna mais forte o Cavado corrente abaixo, sobre o oceano Atlântico. A imagem de satélite abaixo mostra **um VCAN sobre o oceano Atlântico, próximo à costa Nordeste, do Brasil**, observado no dia 21 de fevereiro de 2019. A imagem de vapor d'água que segue apresenta a distribuição da umidade, ao redor do VCAN, nos níveis médios e altos da atmosfera.

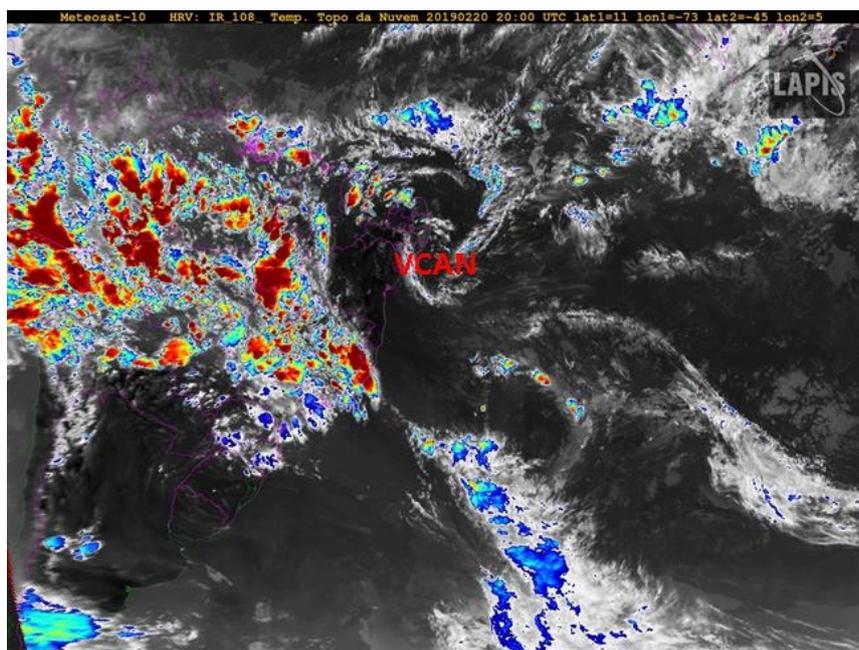
Figura 31 – VCAN sobre oceano Atlântico



Fonte: Lapis

O VCAN é uma região de baixa pressão atmosférica, com ventos secos girando, no sentido horário, ao redor do centro do vórtice. Quanto mais distante do centro do vórtice, maior a nebulosidade e instabilidade. As áreas mais próximas do centro do vórtice ficam com poucas nuvens e têm menor possibilidade de chuvas. **Eles se deslocam lentamente do oceano para o continente e vice-versa.** Nebulosidade e instabilidades ocorrem nos setores leste e nordeste do vórtice. A imagem de satélite abaixo mostra **um VCAN atuando na costa Leste do Nordeste**, dia 21 de fevereiro de 2019. A sigla VCAN, destacada em vermelho, no mapa, indica onde está localizado o centro do vórtice. Observe que, nesse dia, as suas bordas induziram a formação de chuvas nos estados do Maranhão e Piauí.

Figura 32 – VCAN sobre oceano Atlântico



Fonte: Lapis

Segundo o meteorologista Humberto Barbosa, do Lapis, em alguns casos, **os vórtices ciclônicos são favoráveis às chuvas no Nordeste brasileiro**, e, em determinadas situações, provocam redução de umidade e, conseqüentemente, reduzem as chuvas. Os VCANs são sistemas caracterizados por condições de tempo firme, em seu centro, favorecendo a formação de chuvas - às vezes intensas - nas suas bordas.

Tudo vai depender da localização do vórtice, pois de acordo com a posição do seu centro, a tendência é inibir as chuvas sobre essa área. Ao contrário, a localização das suas bordas tende a trazer maior umidade e nebulosidade sobre as áreas onde estão localizadas, provocando maior volume de chuvas.

A localização do VCAN é bastante dinâmica. Em 22 de fevereiro de 2019, somente um dia após a captura da imagem, acima, o centro do vórtice já havia adentrado para o interior do continente, como mostrado no vídeo¹, no endereço citado logo após esse parágrafo. Cujas animação corresponde a imagens de monitoramento por satélite da circulação dos ventos em altos níveis da atmosfera. Observe que o VCAN está localizado, no interior do Nordeste, com seu centro e suas bordas exercendo influências diferentes nas condições de tempo na região.

Os VCANs que atuam no Nordeste são observados nas estações de primavera, verão e outono, com maior frequência no mês de janeiro. **Um VCAN pode ser totalmente seco ou acompanhado de muita nebulosidade.** Depende da sua profundidade. Acima de 5 km de altura, possui pouca nebulosidade; enquanto o que atinge níveis mais baixos, possui nebulosidade muita intensa. A nebulosidade também permite acompanhar o seu deslocamento.

5.2.4. Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

Entre os principais sistemas meteorológicos que atuam sobre o Nordeste brasileiro, durante o verão, está a **Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)**, responsável pela maior parte da chuva anual na região.

Figura 33 – Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)



¹ Disponível em <https://www.letrasambientais.org.br/posts/entenda-os-5-fenomenos-que-trazem-chuvas-para-o-nordeste,-durante-o-verao>

A ZCIT é decisiva na determinação de quão abundante ou deficiente serão as chuvas no setor norte do Nordeste do Brasil. Ela corresponde **a uma grande zona de instabilidade, que oscila para norte e sul, dependendo da época do ano**, sempre perto da faixa equatorial do Globo terrestre.

Entre fevereiro e maio, **a ZCIT fica mais próxima da costa norte, do Brasil, época de chuvas entre o Rio Grande do Norte e a Amazônia**. Em alguns anos, ela desce mais e pode levar chuvas para o Semiárido da Paraíba, Ceará e Piauí. Em outros anos, mal provoca chuvas na faixa litorânea. Tudo vai depender da diferença de temperatura da água do mar entre o Atlântico Norte e o Atlântico Sul.

O deslocamento da ZCIT está estreitamente ligado à temperatura da superfície do Oceano Atlântico tropical, um dos fatores determinantes da sua posição e intensidade. Ela, geralmente, está situada sobre, ou próxima, às altas temperaturas da superfície do mar. Na maioria dos anos, há uma relação direta entre a temperatura da superfície do Atlântico tropical e as chuvas no Nordeste.

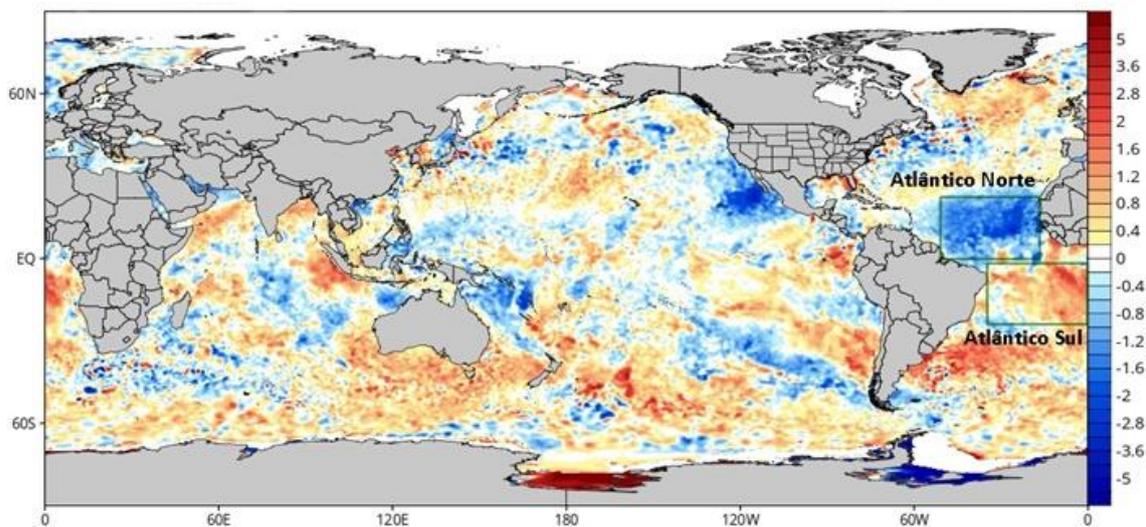
Águas mais quentes, no Atlântico Sul, e mais frias, no Atlântico Norte, estão **associadas aos anos chuvosos no Nordeste brasileiro**, justamente por deslocar a ZCIT para uma posição de influência no setor norte da região.

De acordo com o monitoramento climático, realizado pelo Lapis, as temperaturas da superfície das águas do Oceano Atlântico oscilaram muito nos primeiros meses de 2019. **No mês de janeiro de 2019, o Dipolo do Atlântico ficou favorável às chuvas no Nordeste**, com o Atlântico Sul mais aquecido que o Norte. Já nas primeiras semanas de fevereiro de 2019, houve uma **tendência de maior aquecimento das águas do Atlântico Norte**, aspecto que não beneficiou o clima do Nordeste.

Para aprofundar seus conhecimentos sobre **como os Oceanos Atlântico e Pacífico influenciam o clima do Nordeste**, bem como acerca dos principais fenômenos, e para compreender melhor as condições de tempo na região, recomendamos a leitura do livro **“Um século de secas”**.

Observe, na imagem abaixo, que, durante o período de 17 a 23 de fevereiro de 2019, a média das temperaturas das águas do Atlântico Sul voltou a ficar aquecida. Dessa forma, **intensificou-se o Dipolo, favorecendo a atuação de fenômenos que provocam chuvas no Nordeste brasileiro**, como é o caso do deslocamento da ZCIT.

Figura 34 – Média das temperaturas das águas do Atlântico Sul



O aquecimento da temperatura das águas do **Atlântico Sul** é **fator decisivo para identificar por quanto tempo a ZCIT ficará posicionada mais ao sul** da sua posição normal. O pico das chuvas sobre o Nordeste – nos meses de março e abril – ocorre, exatamente, na época em que a ZCIT atinge sua posição mais ao sul.

Os **estados do Nordeste brasileiro mais afetados pela ZCIT** são: norte e centro do Maranhão e Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte e os sertões da Paraíba e Pernambuco. Pela sua extensão, a ZCIT é facilmente identificada em imagens de satélites como **uma banda de maior nebulosidade** sobre as regiões equatoriais e subtropicais nos oceanos Pacífico e Atlântico principalmente. A circulação da ZCIT atua no sentido de **transferir calor e umidade dos níveis inferiores, da atmosfera, das regiões tropicais, para os níveis superiores**, da troposfera, e para médias e altas latitudes. A ascensão desses ventos provoca um resfriamento em níveis mais altos, perdendo umidade por condensação e precipitação. A ZCIT pode ser definida como **uma banda de nuvens que circunda a faixa equatorial do Globo terrestre**, formada, principalmente, pela confluência dos ventos alísios do Hemisfério Norte com os ventos alísios do Hemisfério Sul, em baixos níveis - o choque entre eles faz com que o ar quente e úmido ascenda e provoque a formação das nuvens -, baixas pressões, altas temperaturas da superfície do mar e precipitação.

5.2.5. Frentes frias

O avanço das frentes frias até as latitudes tropicais, entre os meses de novembro e janeiro, é **outro mecanismo indutor de chuvas no Nordeste brasileiro**.

As frentes frias são **bandas de nuvens organizadas que se formam na região de encontro entre duas massas de ar** – uma frente quente, que perde espaço, e outra fria, que ganha força. Avançando com velocidades de até 30 km/h, o ar frio e seco, mais denso, empurra a massa quente e leve para cima. Se houver umidade suficiente, a passagem da

frente forma nebulosidade e causa chuvas intensas. Quando há uma massa de ar frio muito forte, **a frente fria consegue chegar a áreas nordestinas**, sobretudo, o sul da Bahia, onde há uma condição mais favorável para essas frentes.

Figura 35 – Massas de ar



Esses sistemas **podem chegar a áreas do leste de Pernambuco e da Paraíba**, mas com uma frequência menor, porque, geralmente, a massa de ar frio, proveniente dos polos, não é tão forte para empurrar a frente fria para essas áreas. Com seu avanço, **as frentes perdem energia e velocidade**, de modo que o contato com o solo quente reduz o frio das massas de ar, enfraquecendo o sistema. Por isso, é raro uma frente fria chegar até o Nordeste.

As **previsões meteorológicas para o Nordeste brasileiro são bastante complexas**, especialmente, quando se trata de prognósticos, de tempo e clima, durante o verão. As chuvas esperadas para a região são influenciadas por um conjunto de fatores de origem oceânica e/ou atmosférica.

Para melhor aprofundamento, sobre esse assunto, recomendamos que leia a matéria completa, que pode ser acessada por meio do link disponibilizado nas Referências.

Saiba mais

Muitos vídeos do Youtube tratam dessa temática, por isso vale a pena você correr atrás! Veja algumas indicações:

Circulação geral da atmosfera

- <https://www.youtube.com/watch?v=14V4TRNj0J4>
- <https://www.youtube.com/watch?v=uVfDKoKdH7M>

ZCIT:

- <https://www.climatempo.com.br/noticia/2015/11/10/atlantico-contra-o-nordeste-0241>

Recomendamos procurar na internet e ler outros artigos sobre este tema.

Lembrete

Você já ouviu falar de previsão do tempo? No Brasil, o órgão oficial - responsável pela coleta de dados em uma rede de estações meteorológicas, espalhadas por todo o território Nacional - é o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. A partir das informações meteorológicas obtidas o INMET faz-se a previsão de tempo para todas as cidades do país.

Portanto, se você deseja saber a previsão do tempo para a sua cidade consulte o site: <https://portal.inmet.gov.br/>

Você sabia?

No Brasil também existem outros órgãos que fazem previsão do tempo?

Além do INMET, fazem monitoramento e previsão de tempo: o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (**Cemaden**) e o *Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE*. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (**INPE**) é o órgão oficial responsável pelo monitoramento de queimadas no território brasileiro. Além desses órgãos, da esfera nacional, em muitos estados, existem órgão estaduais que fazem previsão de tempo e são responsáveis pelo monitoramento diário das chuvas e do nível da água nos açudes e barragens.

Vamos Revisar?

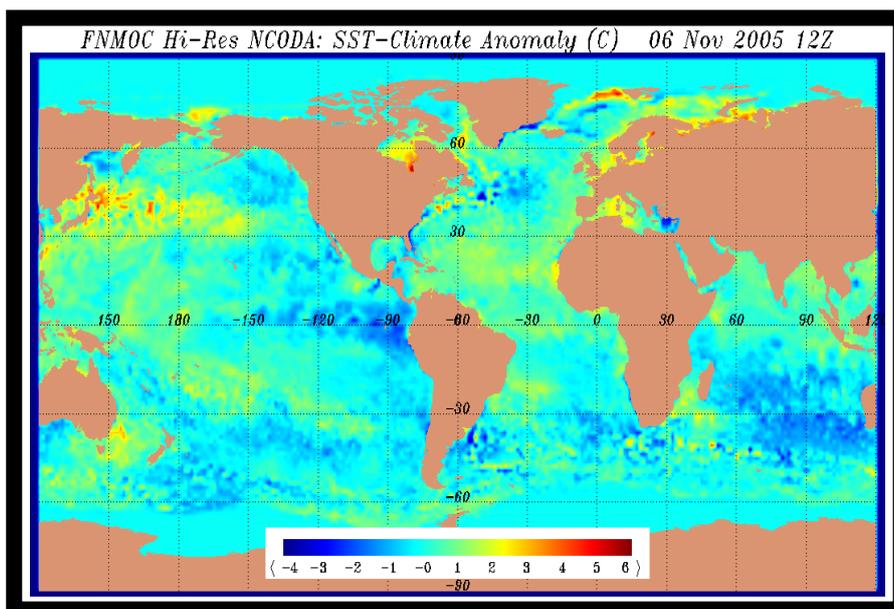
Neste capítulo, nós estudamos a circulação geral da atmosfera; vimos que o ar, ao ser aquecido, na região equatorial, próximo do equador, sobe e, ao se resfriar, nas altitudes mais elevadas, tende a caminhar na direção dos polos, dando origem a três células convectivas: célula tropical; célula Ferrel e célula polar. Vimos, também, a posição média dos centros de baixa e alta pressão atmosférica e quais os sistemas meteorológicos que atuam e geram chuvas no Nordeste.

6. Temperatura da Água dos Oceanos e as Chuvas no Nordeste

Você já pensou sobre o papel da temperatura dos oceanos Pacífico e Atlântico na ocorrência ou inibição de chuvas no Nordeste? Você sabia que o aumento ou diminuição da temperatura da superfície das águas desses oceanos gera os eventos El Niño, La Niña e Dipolo Norte-Sul e que esses eventos implicam cenários favoráveis ou desfavoráveis à ocorrência de chuvas na região Nordeste e em outras partes do globo? Todas essas questões serão abordadas neste Capítulo! Vamos continuar nossa jornada?!

Os eventos El Niño e a La Niña são fenômenos que ocorrem no oceano Pacífico Equatorial, quando temperatura das águas superficiais ficam acima ou abaixo temperatura média histórica. Portanto, no caso do El Niño, ele ocorre quando o Oceano Pacífico Equatorial está mais quente (El Niño) ou mais frio (La Niña) do que a média normal histórica. A mudança na temperatura do oceano Pacífico Equatorial acarreta efeitos globais na temperatura e precipitação. Nas figuras a seguir, disponibilizadas pelo *Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center / Optimum Thermal Interpolation System (FNMOC/OTIS)*, pode ser observado que, em ano de La Niña, nas áreas do Oceano Pacífico, em que as temperaturas são mais frias em relação à média histórica, a cor predominante é o azul, enquanto a cor vermelha representa o aquecimento do oceano, em relação à média histórica, registrado em ano de El Niño.

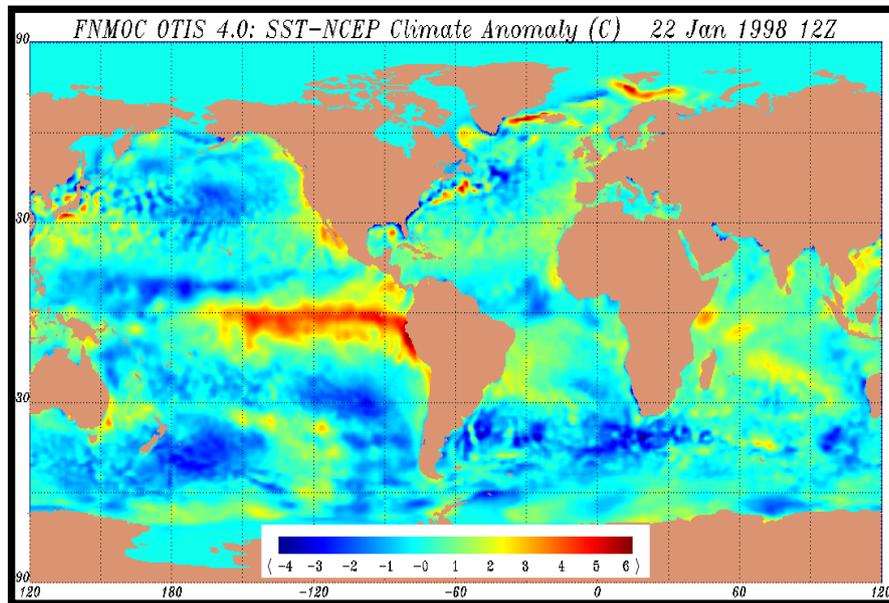
Figura 36- Temperatura do oceano Pacífico em novembro de 2005, um ano de La Niña.



Portanto, a La Niña é um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um resfriamento das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical, e que pode afetar o clima

regional e global, mudando os padrões de vento a nível mundial, e afetando assim, os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias.

Figura 37 - Temperatura do oceano Pacífico em janeiro de 2005, um ano de El Niño.



Por outro lado, o El Niño é um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical, e que pode afetar o clima regional e global, mudando os padrões de vento a nível mundial, e afetando assim, os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias.

Por exemplo: as previsões da anomalia da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), para fevereiro-março-abril de 2020 (FMA-2020), dos modelos numéricos de previsão climática analisados, indicavam que as águas sobre o Pacífico Equatorial deviam estar próximas dos valores climatológicos, ou seja, haveria a permanência da fase neutra do ENOS. A previsão da ocorrência de ENOS, realizada pelo Instituto Internacional de Pesquisa em Clima e Sociedade (IRI/CPC), no meio do mês de janeiro, apontava que a maior probabilidade (68%) era de que o trimestre (FMA) tivesse condições de neutralidade do ENOS e, assim, março-abril-maio de 2020 (MAM-2020) (76%). Essa condição de neutralidade, também, deveria se manter nos trimestres de abril-maio-junho de 2020 (77%) e maio-junho-julho (64%). Como foi observado, o ano de 2020 foi bastante chuvoso, em muitas áreas do Nordeste, e, em alguns locais, o índice chegou ao dobro da média esperada. Para melhor entendimento do poder do El Niño e a La Niña, a seguir nas Figuras 38, 39, 40 e 41, será mostrado como os efeitos globais, desses fenômenos, alteram as condições climáticas, em várias partes do globo, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, bem como nos meses de junho, julho e agosto.

É importante observar que a La Niña representa um fenômeno oceânico-atmosférico com características opostas ao El Niño e que se caracteriza por um esfriamento das águas

superficiais do Oceano Pacífico Tropical. Deste modo, alguns dos impactos de La Niña tendem a ser opostos aos de El Niño, mas nem sempre uma região afetada pelo El Niño apresenta impactos significativos no tempo e clima em relação à ocorrência de La Niña.

Figura 38 - Efeitos Globais do El Niño nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro

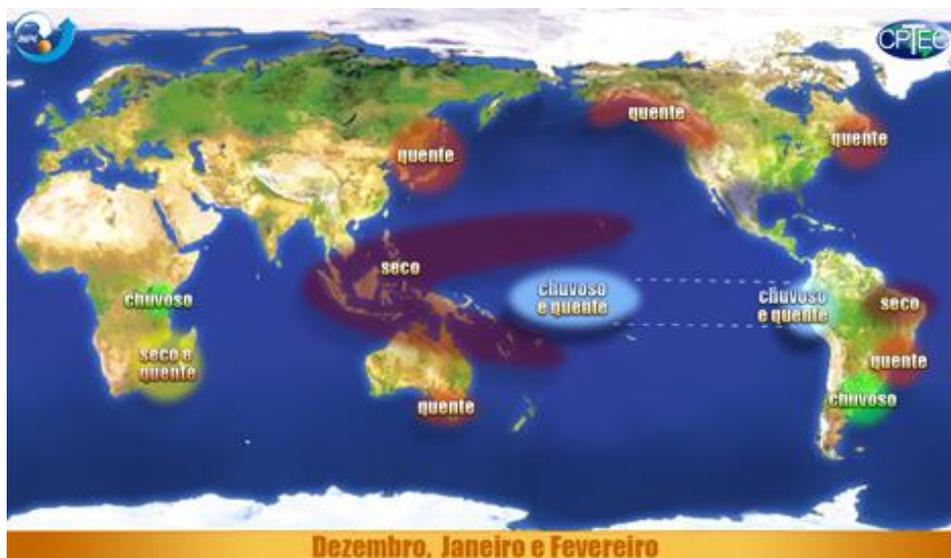


Figura 39 - Efeitos Globais do El Niño nos meses de junho, julho e agosto

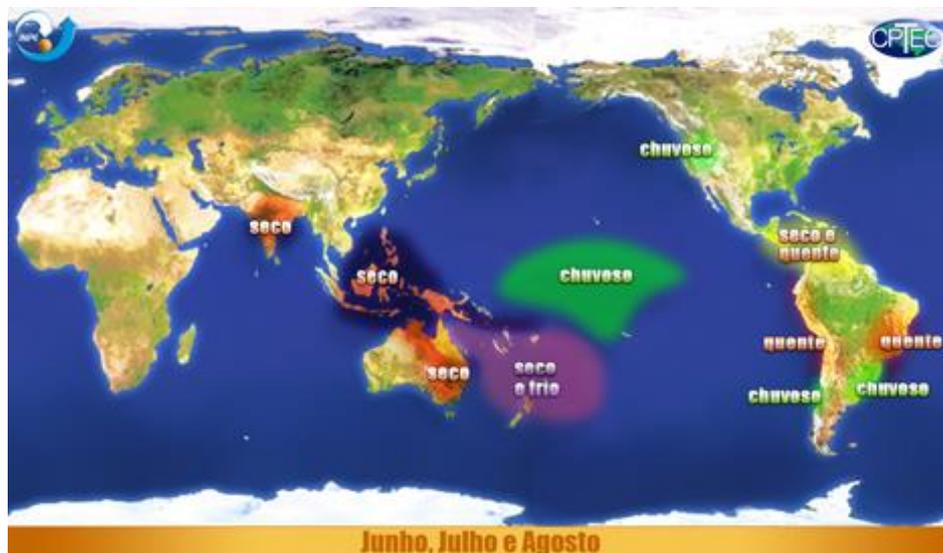


Figura 40 -Efeitos Globais da La Niña nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro

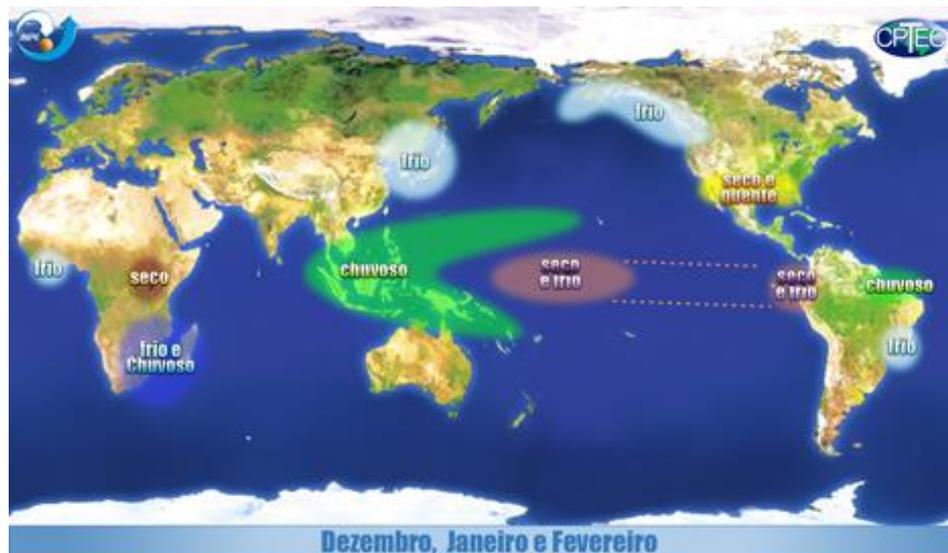
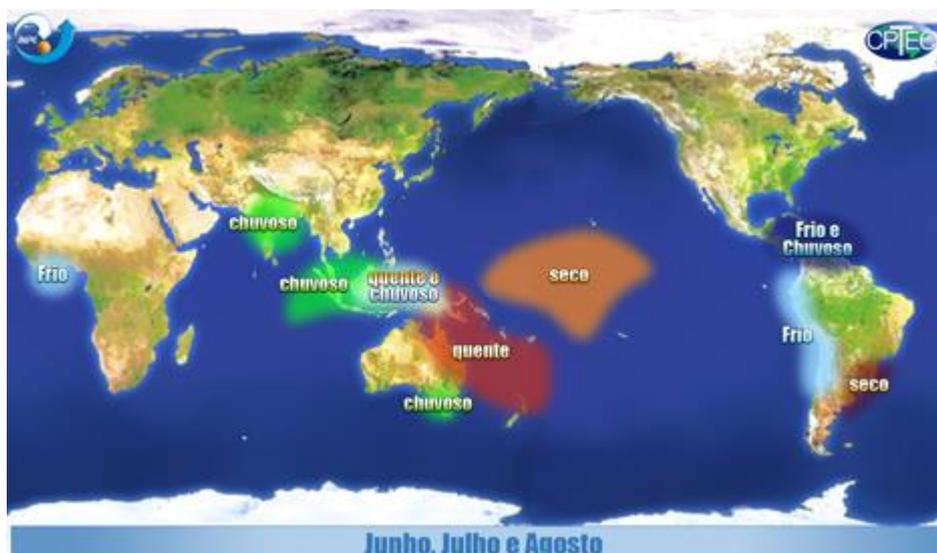


Figura 41 - Efeitos Globais da La Niña nos meses de junho, julho e agosto



Conclusão

De modo geral, é importante mencionar que as **previsões meteorológicas para o Nordeste brasileiro são bastante complexas**, especialmente as previsões climáticas, ou seja, previsão da estação chuvosa. As chuvas esperadas para a região são influenciadas não apenas pelos fenômenos El Niño e La Niña, como também, fortemente, pelas condições térmicas do Oceano Atlântico (Dipolo Norte-Sul), assim como por outros fatores de origem oceânica e/ou atmosférica.

Saiba mais

Muitos vídeos, disponibilizados no Youtube e em outros sites, tratam dessa temática. Por isso, vale a pena você reforçar seu aprendizado assistindo-os! Veja algumas indicações interessantes:

Mudanças climáticas / Entenda o que é El Niño.

Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=_SaNsxrkieI

Modelo Climático dos EUA / I Niño, La Niña ou neutralidade? Entenda nova atualização do NOAA

Disponível em:
<https://www.canalrural.com.br/programas/informacao/mercado-e-cia/el-nino-la-nina-ou-neutralidade/>

Vamos Revisar?

Neste Capítulo, nós estudamos a temperatura da água dos oceanos e as chuvas no Nordeste; vimos que os fenômenos El Niño e La Niña, assim como o Dipolo Norte-Sul no Oceano Atlântico, são extremamente importantes para alteração nas condições climáticas no Nordeste e em muitas partes do globo terrestre.

7. Captação da Água de Chuva em Áreas do Semiárido

7.1. A Situação da Água no Brasil e no Semiárido

O Brasil está incluído entre os países de maior reserva de água doce, ou seja, 13,8% do deflúvio médio mundial, com uma disponibilidade hídrica *per capita* variando de 1.835 m³/hab./ano, na bacia hidrográfica do Atlântico Leste, a 628.938 m³/hab./ano, na bacia Amazônica (Freitas e Santos, 1999). Porém, devido às suas dimensões geográficas e diversidade climática, algumas regiões sofrem graves problemas de escassez de água, como o Semiárido nordestino. Recentemente, grandes metrópoles, como Fortaleza-CE, Campina Grande-PB, Recife e Caruaru-PE, têm passado por problemas de racionamento constante de água, tanto para consumo humano, como para o desenvolvimento socioeconômico.

Apenas 3% do total de água existente no país encontra-se na região Nordeste, sendo que 63% estão localizados na bacia hidrográfica do rio São Francisco e 15% na bacia do rio Parnaíba, que, juntos, detêm 78% da água da região. As bacias dos rios intermitentes detêm apenas 22% e concentram-se em 450 açudes de grande porte, cuja capacidade é superior a um milhão de metros cúbicos, entre os mais de 70 mil existentes, como também, em aquíferos profundos, com cerca de 100 mil poços tubulares perfurados (Grupo Água Viva, 2005). Porém, a água desses poços, em sua maior parte, é salobra ou salgada, não sendo apropriada para o consumo humano, tampouco, para a maioria das atividades socioeconômicas. A utilização de águas salobras para consumo humano, por falta de opções de outras fontes hídricas, para uso pelas comunidades rurais dispersas, pode provocar riscos à saúde do homem, principalmente, em crianças.

O Semiárido brasileiro ocupa 67% da região Nordeste, com área de 969.589,4 km², estendendo-se do estado do Piauí ao Norte de Minas, perfazendo 1.133 municípios. Sua delimitação tem por base três critérios técnicos, os quais foram aplicados consistentemente a todos os municípios que pertencem à área da Sudene, incluindo os municípios do norte de Minas Gerais e do Espírito Santo (Brasil, 2005). Esses critérios estão relacionados com: Precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm; Índice de aridez de até 0,5, calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990; Risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990.

Trata-se de uma região caracterizada por grande diversidade de quadros naturais e socioeconômicos. A compreensão sobre a variabilidade do Semiárido, no que se refere aos seus recursos naturais e agrossocioeconômicos, tem sido objeto de estudos da Empresa Brasileira de Agropecuária (Embrapa), que identificaram 172 unidades geoambientais, na

região Nordeste, das quais 110 estão inseridas no Semiárido (Silva et al., 2000). Dentro dessa diversidade, o crescente número de experiências organizacionais desenvolvidas em torno da agricultura familiar vem superando a vulnerabilidade desses agroecossistemas, diante das secas e constituindo alternativas econômicas sustentáveis.

A principal característica desta região é a irregularidade do regime de precipitação pluviométrica, tanto no tempo, como no espaço, ocorrendo em até quatro meses em diversos municípios. Segundo Porto et al. (1983), apenas três, em cada dez anos, são considerados normais quanto à distribuição das precipitações.

Associada à escassez de água, em consequência da irregularidade das chuvas, as altas taxas evapotranspirométricas contribuem para reduzir a disponibilidade hídrica e favorecer a concentração de solutos nas fontes hídricas superficiais, degradando a qualidade das águas, por meio da eutrofização, salinização e concentração de compostos não permissíveis para alguns usos considerados nobres, que exigem rigoroso controle da qualidade. No que se refere às fontes subterrâneas, devido ao predomínio das rochas cristalinas, os sistemas aquíferos são do tipo fissural e apresentam vazões inferiores a $3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e teores de sólidos dissolvidos totais, em média, 3 g L^{-1} , com predominância de cloretos (Leal, 1999).

Este quadro de incertezas quanto à disponibilidade e à qualidade das águas gera insegurança na tomada de decisão de políticas de desenvolvimento agropecuário e socioeconômico, para a região, necessitando, portanto, de medidas de planejamento e de gestão dos recursos hídricos disponíveis, visando atender à demanda da população de forma permanente.

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), citada por Brasil (1999), a falta de água potável e de saneamento no Brasil é a causa de 80% das doenças e de 65% das internações hospitalares, implicando gastos de U\$ 2,5 bilhões. Estima-se que, para cada R\$ 1,00 investido em saneamento, haveria uma economia de R\$ 5,00 em serviços de saúde.

Diante deste cenário, o maior desafio a ser enfrentado pela humanidade, neste século, talvez não seja a escassez de água, mas um adequado gerenciamento dos recursos hídricos no âmbito global e regional, de forma integrada, consciente e participativa, envolvendo todos os atores do processo, iniciando-se com a educação ambiental em todos os setores. Segundo Machado (2002), a noção de gestão integrada dos recursos hídricos assume várias dimensões e envolve diferentes e complexas conotações: primeiro, tem que se considerar os diversos processos de transporte de massa de água do ciclo hidrológico; segundo, a água é um recurso de usos múltiplos; terceiro, está em constante inter-relacionamento com outros elementos do mesmo ecossistema (solo, flora, fauna); quarto, envolve coparticipação de gestores, usuários e população, no planejamento e na gestão desses recursos, e, finalmente, deve atender aos anseios da sociedade, na perspectiva do desenvolvimento sustentável. O autor afirma, ainda, que a prática de uma gestão integrada deve ser orientada pela lógica da

negociação sociotécnica, em virtude da complexidade, heterogeneidade e diversidade de elementos que compõem um dado espaço geográfico, sendo, portanto, esta negociação, um processo dispendioso dos pontos de vista político, financeiro e emocional, além de incerto e arriscado. Por outro lado, tem a vantagem de ajustar bem as partes entre si e produzir novas situações e oportunidades.

No contexto da complexidade do planejamento e gestão integrada e sistêmica dos recursos hídricos, Cedraz (2002) ressalta a necessidade de discussões e reflexões profundas envolvendo todos os atores partícipes, onde as ações devem culminar com os princípios do desenvolvimento sustentado tão discutido pela sociedade nas últimas décadas, tendo na água o recurso básico da gestão ambiental e suas relações com o desenvolvimento.

Braga et al. (1999) afirmam que, para um planejamento e gestão dos recursos hídricos em bases sustentáveis, são fundamentais informações referentes à caracterização física, dos sistemas hídricos, envolvendo o conhecimento do relevo, hidrografia, geologia, solos, cobertura vegetal, ações antrópicas, obras hidráulicas e informações hidroclimáticas, como séries históricas e em tempo real das variáveis climáticas, fluviometria, sedimentometria e, principalmente, qualidade da água. Outros aspectos que devem ser considerados são os fatores socioeconômicos, com ênfase no uso e nos impactos nos recursos naturais, advindos de atitudes antropogênicas. Afirmam, ainda, que o monitoramento da qualidade da água em uma bacia hidrográfica é muito mais amplo, do que a verificação, se os padrões legais de qualidade estão sendo obedecidos, devendo, portanto, atender à necessidade de se responder ao que está sendo alterado, os porquês de estas modificações estarem ocorrendo, definir e implementar medidas preventivas de contaminação dos recursos hídricos.

7.2. Descrição das Tecnologias de Captação de Água de Chuva

No Semiárido brasileiro, existem várias experiências de tecnologias bem-sucedidas, de acesso e manejo da terra e água para criação de animais e produção de alimentos, as quais podem ser multiplicadas para diferentes situações agroecológicas da região, como:

- **Cisterna** - é uma tecnologia milenar, que busca resolver um dos principais problemas para as famílias do Semiárido: a escassez de água para consumo humano e doméstico, em especial, no período de estiagem. A falta de abastecimento adequado de água, no Semiárido, leva as famílias a percorrerem grandes distâncias, em busca de água, geralmente, imprópria, para o consumo humano e de pequenos animais. Estudos realizados por Silva et al. (1988) relatam que uma cisterna com capacidade de armazenamento de água de 16,0 m³, ou seja, 16,0 mil litros, é suficiente para atender as necessidades básicas - beber, cozinhar e higiene mínima, como lavar o rosto - de uma família com até 5 pessoas, durante 8 meses, que corresponde a 240 dias sem chuvas. Com a concepção do P1+2 (Programa Uma

Terra e Duas Águas), com esse volume de 16 mil litros, também, é possível manter pequenas áreas, como um “quintal produtivo”, com 20 ou 30 m², cultivado com hortaliças, regar mudas de fruteiras ou ter água para pequenos animais.

É importante ressaltar que, dependendo do índice médio anual de chuva, da região, o potencial de captação da água, em telhado, pode ser bem maior do que o volume de 16 mil litros, do programa P1+2. Por exemplo: no Sul do Ceará e Oeste da Paraíba, onde o índice médio anual supera os 800 mm, daria para se coletar, em média, em uma casa com telhado de 100 m², cerca de 80 mil litros anualmente. E mesmo numa região que chove apenas 350 mm, por ano, como o Cariri da Paraíba, em uma casa com telhado de 100 m², daria para se coletar, em média, cerca de 35 mil litros anualmente. Para se fazer o cálculo do potencial de captação da água de chuva, de uma determinada casa, pega-se a área de seu telhado e multiplica-se pelo índice médio anual de chuva daquela região.

- **Poço ou Cacimba** - as águas subterrâneas constituem-se em uma alternativa de uso pelas famílias para o atendimento de suas necessidades hídricas, no período seco, e, principalmente para o consumo dos animais. A desvantagem desta fonte é que, normalmente, a qualidade não é adequada a todos os usos, apresentando, na maioria das vezes, elevada salinidade.
- **Barragem subterrânea** - aproveita as águas das enxurradas e de pequenos riachos disponíveis, na região, armazenando-a no solo. A umidade do solo, adquirida no período chuvoso, permanece por um tempo maior, no solo, onde podem ser plantadas fruteiras, hortaliças e culturas anuais. Em condições apropriadas, na área da barragem subterrânea, pode ser aberto um poço raso, cuja água pode ser utilizada para fins diversos.
- **Barreiro Trincheira ou barreiro para uso na irrigação de salvação** - desenvolvido para armazenar água, para os animais e para irrigação de salvação, complementando as necessidades de água de cultivos anuais. Na irrigação de salvação, a água deve ser aplicada no período chuvoso, nos veranicos que normalmente ocorrem no Semiárido brasileiro, isto é, ocorre uma chuva de 30 ou 40 mm, o produtor planta e só vai ocorrer outra chuva 30 ou 40 dias após, causando estresse hídrico, na planta, muitas vezes, reduzindo drasticamente sua produtividade. Assim, deve-se aplicar uma lâmina de água mínima, na expectativa de que, pelo menos, no dia seguinte, ocorrerá uma chuva. Se isto não acontecer, mais uma vez, aplica-se outra pequena lâmina de água às culturas.

- **Pequeno açude** - no Semiárido brasileiro, os açudes/barragens têm diversas finalidades, ou seja, atendem ao consumo humano, animal, lazer, irrigação de culturas anuais e perenes, entre outros. Pode-se plantar nas margens, explorando-se a vazante, ou abaixo do açude, com irrigação convencional ou de salvação.
- **Caldeirão (tanque de pedra ou caixio)** - é uma caverna natural, às vezes, escavada em lajedos para aumentar a capacidade de armazenamento. Constitui um excelente reservatório para armazenar água das chuvas para uso humano, animal e agrícola.
- **Mandala** - também conhecida por “sapo”, é uma tecnologia da permacultura adaptada para o Semiárido brasileiro que tem por objetivo racionalizar e otimizar o uso da água de um pequeno reservatório cônico para irrigação por gotejamento de hortifruticulturas em seu entorno, consorciadas entre si e com criatórios de peixes e aves.

O P1+2 é um programa que contempla tecnologias sociais. Tecnologias sociais são, ao mesmo tempo, agrícolas, ecológicas, econômicas e solidárias, que promovem a segurança alimentar, porém, justamente por serem multissetoriais, precisam de um amplo leque de articulação entre as organizações da sociedade e várias áreas governamentais para garantir a plena realização de todas as suas dimensões (Lassance et al., 2004). Tal como o P1MC, o P1+2 é uma proposta da sociedade civil organizada, dirigida ao Estado, com seus diferentes setores envolvidos, para financiamento público e execução em parceria.

No P1+2, a questão fundamental é a distribuição da terra, uma reforma agrária apropriada, com uso sustentável da terra e da água e envolvendo a própria população na construção e execução do programa. O Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) foi o ponto de partida para o desenvolvimento sustentável da região, porém, outros aspectos igualmente importantes devem ser considerados, como a produção agropecuária, a saúde, a educação, a infraestrutura, a organização política, a proteção ambiental, etc. O P1+2 é um programa que “nasce de dentro do Semiárido” (Celso Furtado), pensado como um aprofundamento e uma continuidade lógica do P1MC e mais um passo em direção à convivência com o Semiárido. Sugere-se que o governo brasileiro inclua, de forma permanente, esse Programa, nos projetos de desenvolvimento social. Para melhor entendimento deste conteúdo consultar a referência listada abaixo e outras que abordam esse assunto.

Referências

BRITO, L.S.L. / MOURA, M.S.B. / GAMA, G.F.B. Potencialidades da água de chuva no Semiárido brasileiro. Embrapa Semiárido. Petrolina, 2007.

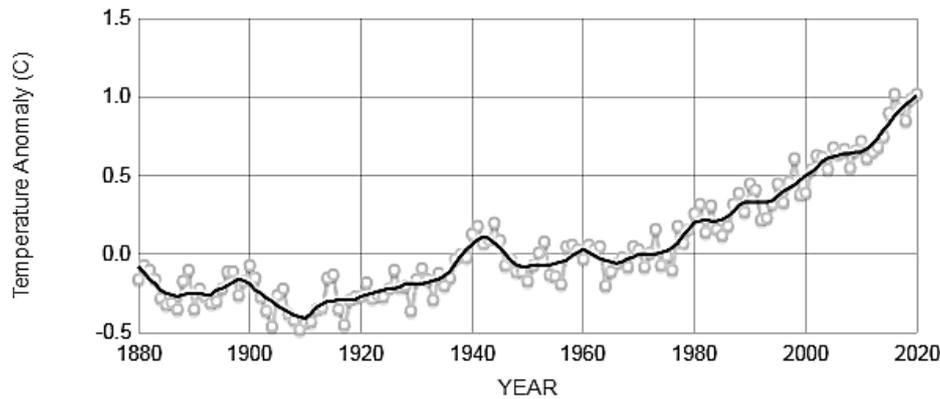
8. Aquecimento Global

Desde a revolução industrial, o ser humano vem alterando, continuamente, a composição do ar atmosférico, sendo o aumento da temperatura média global a principal consequência da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE). Isto representa uma grande ameaça à biodiversidade e à própria sociedade humana, podendo-se afetar a agricultura, a produção de energia, a desertificação de algumas regiões, aumentar a intensidade e a frequência das tempestades, causar a extinção de espécies etc. São muitas as possibilidades quando pensamos nas consequências do aumento, antrópico, da temperatura do ar, sendo o risco de colapso econômico - social e ambiental - o principal motivo para reuniões de lideranças mundiais a fim de estabelecer planos de mitigação dos efeitos do aquecimento global. O Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas (IPCC) é o organismo internacional que está responsável por disponibilizar relatórios com projeções de diferentes cenários climáticos, tomando-se como base o cumprimento, ou não, das metas estabelecidas pelos países que assinaram os acordos climáticos. Como as projeções climáticas são realizadas e quais são os cenários? Neste Capítulo vamos aprender um pouco sobre este importante conteúdo!

8.1 Aquecimento Global

As emissões de GEE já provocaram um aumento de 1° C na temperatura média global, mas é esperado que, até meados do século XXI, esse valor atinja os 2° C se continuarmos com a queima de combustíveis fósseis e com o desmatamento. Os anos de 2014, 2015 e 2016 foram considerados os anos mais quentes, já registrados, enquanto o verão de 2018 foi marcado por fortes ondas de calor, secas, incêndios florestais e inundações no hemisfério norte. Os anos de 2020, apesar da pandemia, já superou todos os recordes anteriores com o valor de 1.02 °C. Hoje, já se fala em refugiados climáticos, caracterizados, principalmente, por integrantes de países insulares que, devido ao derretimento de quase metade do gelo marinho do Ártico, sofrem com os efeitos do aumento do nível médio do mar. Estima-se que, dentro de décadas, o gelo do Ártico desapareça por completo.

Figura 42 - Série histórica da anomalia de temperatura média global.



Source: climate.nasa.gov

Fonte: NASA.

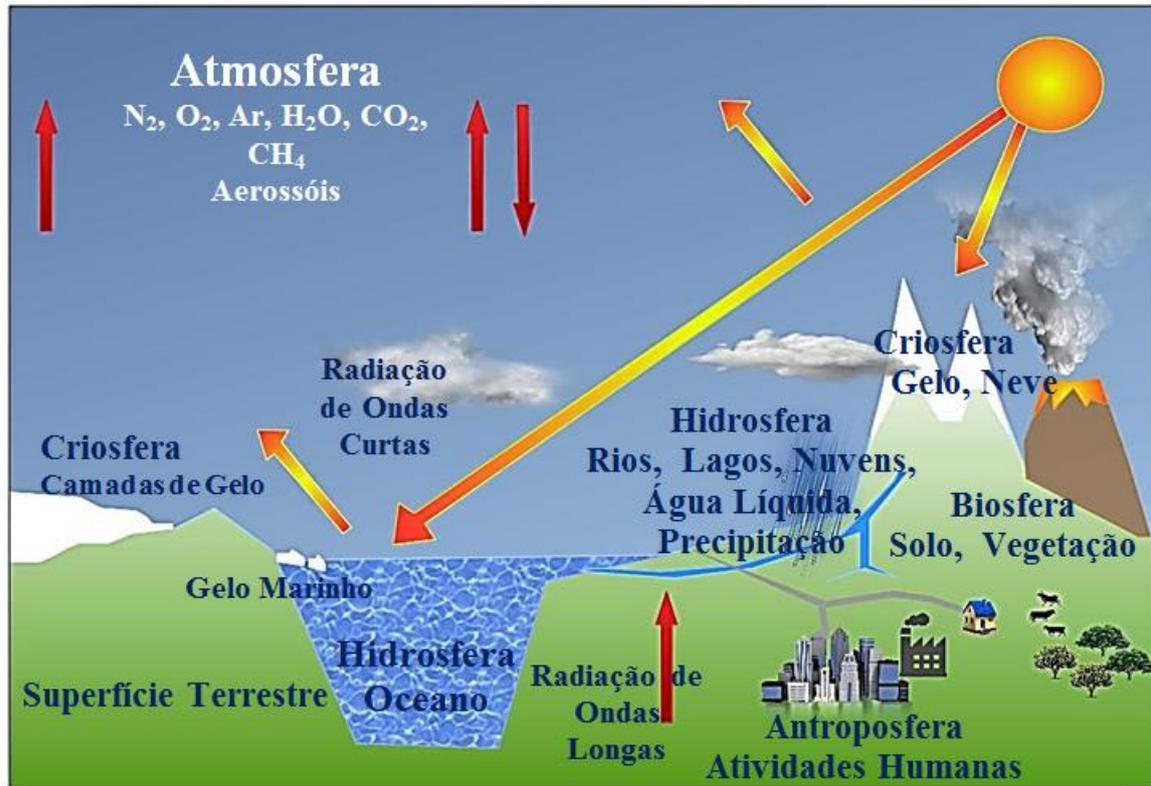
+ Saiba Mais

Você poderá aprender mais, sobre o aquecimento global, com o conteúdo disponibilizado no site da *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* em <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>

8.2 Sistema climático terrestre

O sistema climático terrestre é estudado devido ao desejo do homem de compreender os processos que o regem, possibilitando-se uma melhor adaptação aos seus diferentes regimes. Deve-se levar em consideração as possíveis causas por meio das quais o clima apresenta mudanças, investigando-se o clima passado (Paleoclimatologia) e as tendências para o futuro (Prognósticos). A ferramenta que os pesquisadores costumam adotar para alcançar esse entendimento são os modelos climáticos globais. Segundo Stocker (2011), o sistema climático terrestre é composto por um determinado número de componentes: atmosfera, hidrosfera, criosfera, biosfera, todos sobre a litosfera. Esses componentes são sistemas não lineares, com vários processos que são espacialmente não locais, em que cada componente tem uma escala típica associada - temporal; local; regional e global -, variando-se, por exemplo: de segundos a décadas e de alguns metros a milhares de quilômetros.

Figura 43 - Esboço simplificado do Sistema climático terrestres.

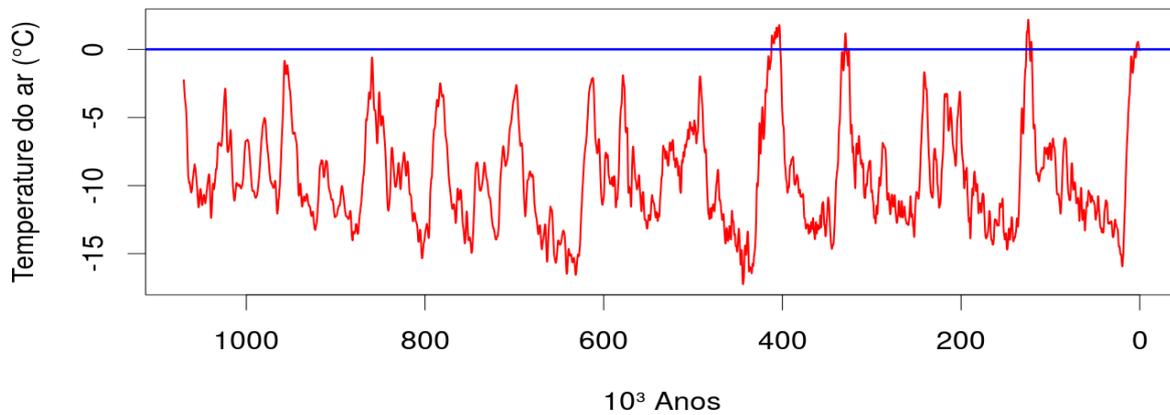


Fonte: Oliveira (2019).

8.3 Mudanças climáticas naturais

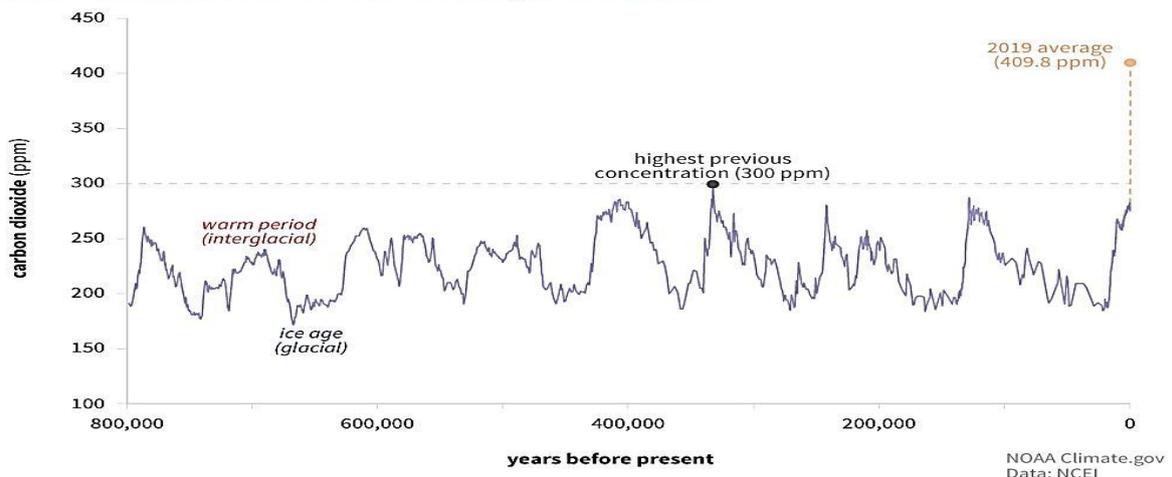
O clima da Terra já passou por muitas mudanças naturais desde a sua formação. Durante o Cretáceo, por exemplo, há 100 milhões de anos, quando os dinossauros ainda habitavam nosso planeta, tivemos temperaturas mais elevadas e uma grande concentração de CO_2 , ultrapassando 1000 ppm. O motivo de valores tão elevados teria sido a ocorrência de várias erupções vulcânicas consecutivas que iniciaram 240 milhões de anos atrás. As erupções vulcânicas têm o impacto, a curto prazo, de reduzir a temperatura, do planeta, pois, ao liberar material particulado, para estratosfera, acabam reduzindo a entrada de radiação solar na superfície. Entretanto, a longo prazo, as erupções vulcânicas têm um efeito contrário, porque, gradualmente, também, lançam GEE que acabam por elevar a temperatura média global. No período pré-industrial, a concentração de CO_2 era de aproximadamente 280 ppm, atualmente, está em 410 ppm. Cabe destacar a atuação do El Niño Oscilação Sul (ENOS), que afeta o clima global. Estimativas apontam que, no último 1 milhão de anos, a temperatura oscilou entre -17 e $1,8$ °C, enquanto o nível médio do mar variou de 120 m a -10 m.

Figura 44 – a) Variação da Temperatura média global no último 1 milhão de anos (Bintanja et al., 2005) e b) variação do CO2 nos últimos 800 mil anos.



a

CARBON DIOXIDE OVER 800,000 YEARS



b

A paleoclimatologia é a área que estuda os padrões climáticos em épocas que antecedem a existência de dados instrumentais. Os métodos para tais estimativas são diversos, mas evidenciamos os estudos de núcleos de gelo (ice cores), anéis de árvores (dendroclimatologia) e grãos de pólen (palinologia). No caso dos testemunhos de gelo, sabe-se que as grandes geleiras se formam, gradualmente, via camadas sucessivas de neve, assim, o gelo acaba aprisionando o ar atmosférico de um passado remoto. Analogamente, o desenvolvimento de uma árvore fica registrado no seu tronco (anéis). Dessa forma, as

propriedades dos gases atmosféricos ficam registradas, nesses anéis e acompanham o crescimento da árvore.

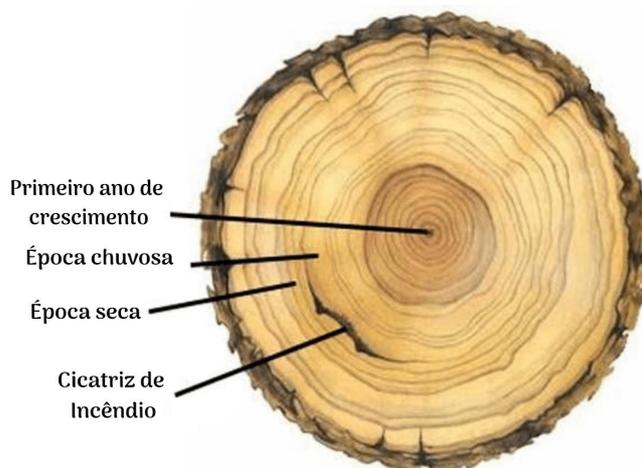
Figura 45 - (a) Grãos de pólen; (b) Pesquisador com núcleos de gelo; (c) Anéis de árvores.



a



b

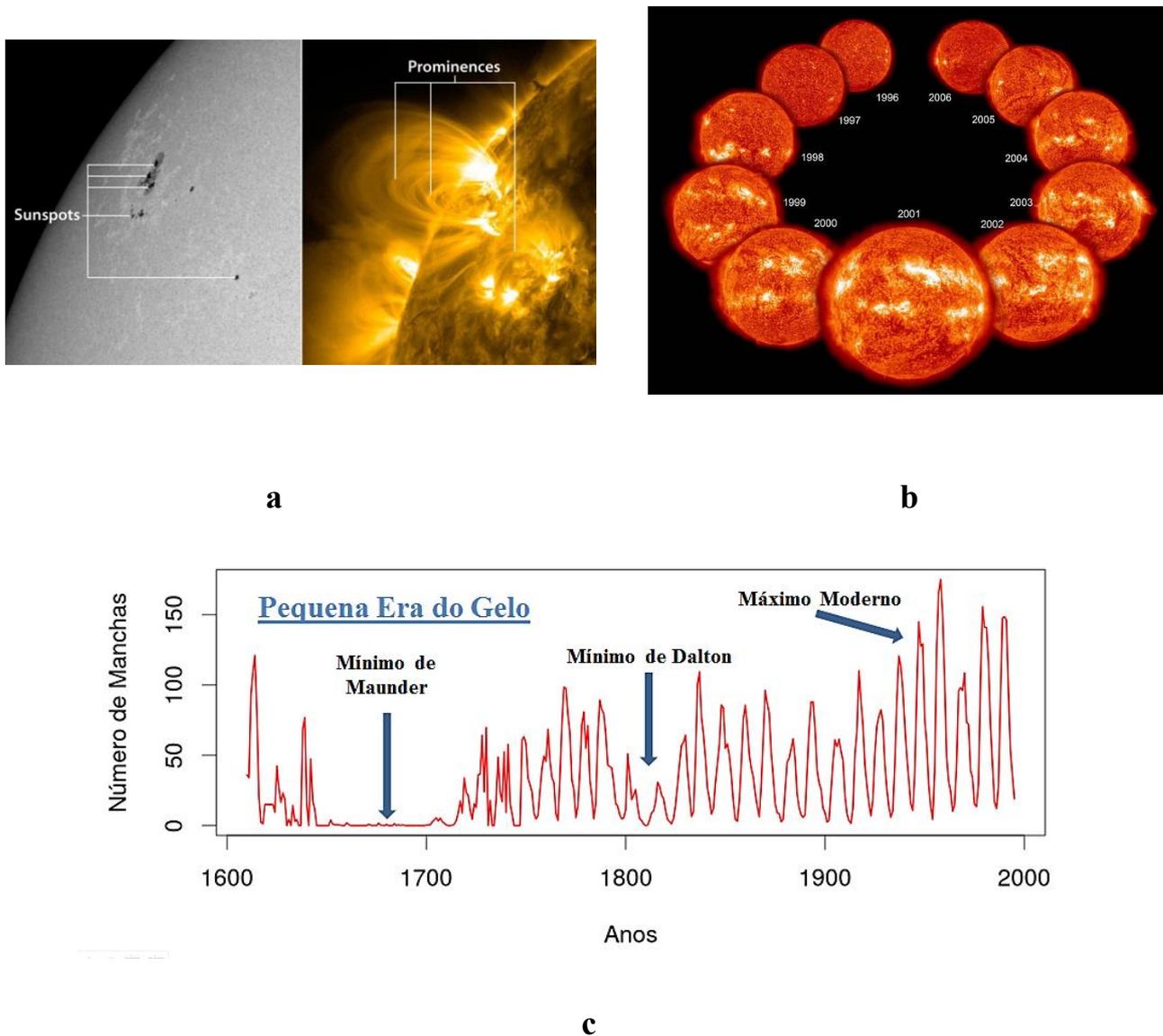


c

As variações da irradiância solar também contribuem para que ocorram mudanças climáticas naturais, o sol possui um ciclo magnético de aproximadamente 22 anos, onde a cada 11 anos a orientação do campo magnético solar se inverte. Durante este processo é que surgem as manchas solares no disco solar, sua formação se deve ao desordenamento das linhas de campo magnético, o que por sua vez perturba a convecção do plasma quente na superfície. Essas manchas apresentam temperatura relativamente mais baixa que a sua região adjacente. O ciclo de manchas solares começou a ser observado por Galileu, que contabilizou o número de manchas no disco solar. Estas observações foram mantidas por outros pesquisadores ao longo dos últimos quatro séculos, o que nos permite reconhecer períodos de muita e pouca atividade solar. Cabe destacar o período, entre 1650 e 1715, em que as manchas no disco solar praticamente desapareceram e, coincidentemente, ocorreu,

nesse mesmo período, o que ficou conhecido como a Pequena Era do Gelo, sendo esse evento relatado em vários documentos oficiais de diferentes países da Europa.

Figura 46- (a) Linhas de campo magnético e manchas solares (sunspot); (b) Ciclo completo de manchas solares; (c) Série histórica do número de manchas solares.

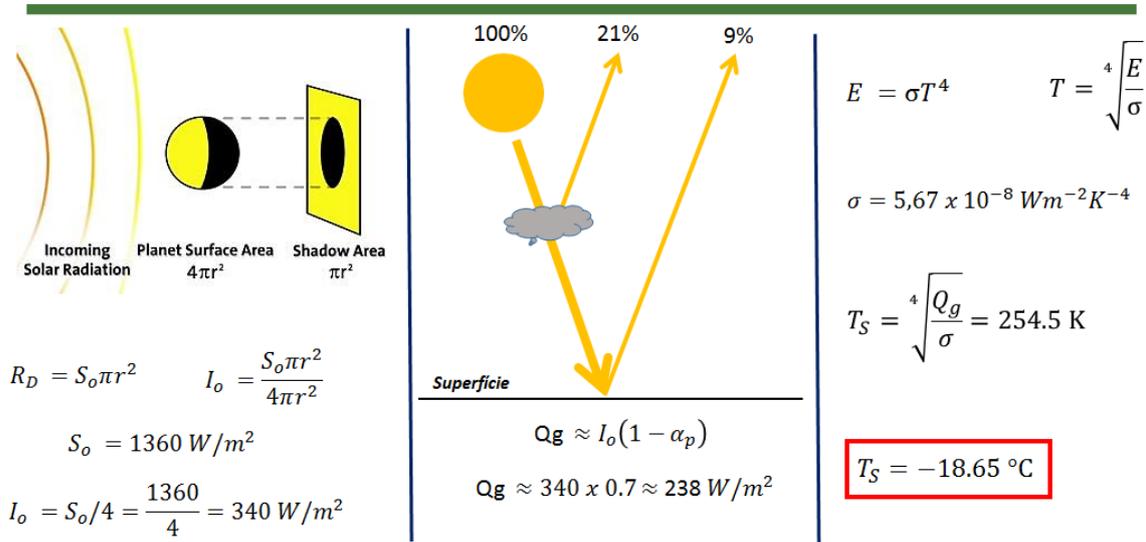


8.4 Balanço de energia global

Neste capítulo, também, aprenderemos, de forma intuitiva, como a temperatura média global da terra pode ser estimada. Primeiramente, vamos considerar que o Sol esteja muito distante da Terra e que, portanto, os raios solares chegam paralelos ao nosso planeta. Logo, sabe-se que apenas uma face do globo estará recebendo radiação, enquanto a outra estará na escuridão total. Assim, se considerarmos o total de radiação que chega a uma das faces (disco terrestre), podemos estimar o valor médio da radiação para toda a esfera terrestre. Por fim, sabendo-se que a constante solar (S_0) é de aproximadamente 1360 W/m^2 , que o albedo

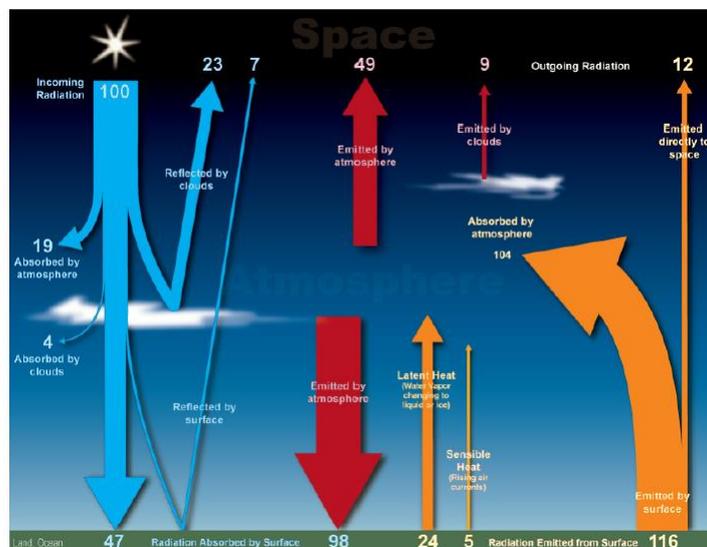
planetário é de, aproximadamente, 30% e, adotando-se a equação da emitância de um corpo negro, poderemos estimar a temperatura média da terra conforme os passos abaixo:

Figura 47 - Etapas para estimar a temperatura média global.



Como você já deve estar imaginando, o valor de **-18.65 °C** é muito inferior ao valor de **15 °C**, portanto, conclui-se que está faltando algo no nosso modelo conceitual. Assim, omitimos que a nossa atmosfera é capaz de reter parte do calor - radiação de ondas longas - emitido pela superfície terrestre, ou seja, nosso primeiro modelo ignora a ação absorvedora dos Gases de Efeito Estufa. Porém, o calor retido, na atmosfera, é devolvido à superfície e utilizado em diferentes processos, por exemplo: precipitação e evaporação - calor latente - e variações de temperatura - calor sensível. Portanto, se agora nos basearmos no esquema de balanço de energia, o nosso modelo deverá estimar corretamente a temperatura média global.

Figura 48 - Esquema do balanço de energia terrestre para um sistema fechado.



Quando consideramos que a radiação emitida, pela superfície, é **116%** da radiação solar incidente no topo da atmosfera, obtemos uma temperatura média global de **15.65 °C**. Já quando consideramos que nossa atmosfera está emitindo cerca de **98%**, da radiação solar que chega ao topo da atmosfera, o valor da temperatura média global cai para **3.75 °C**. Isso nos demonstra claramente como os GEE são fundamentais para que o planeta seja habitável.

$$I_o = 340 \text{ W/m}^2$$

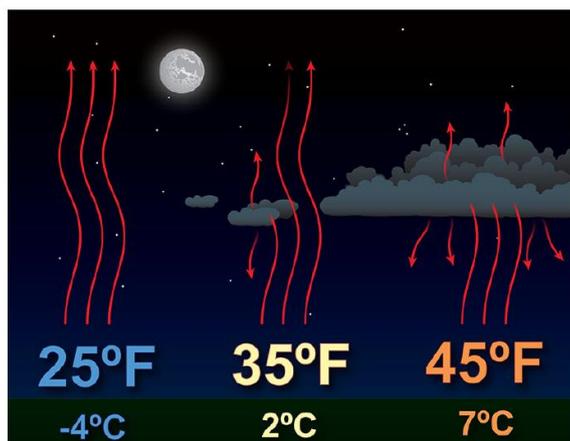
$$T_S = \sqrt[4]{\frac{1.16 \times I_o}{\sigma}} = 288.8 \text{ K} = \boxed{15.65 \text{ °C}}$$

$$T_A = \sqrt[4]{\frac{0.98 \times I_o}{\sigma}} = 276.9 \text{ K} = \boxed{3.75 \text{ °C}}$$

+ Saiba Mais

Efeito estufa das nuvens

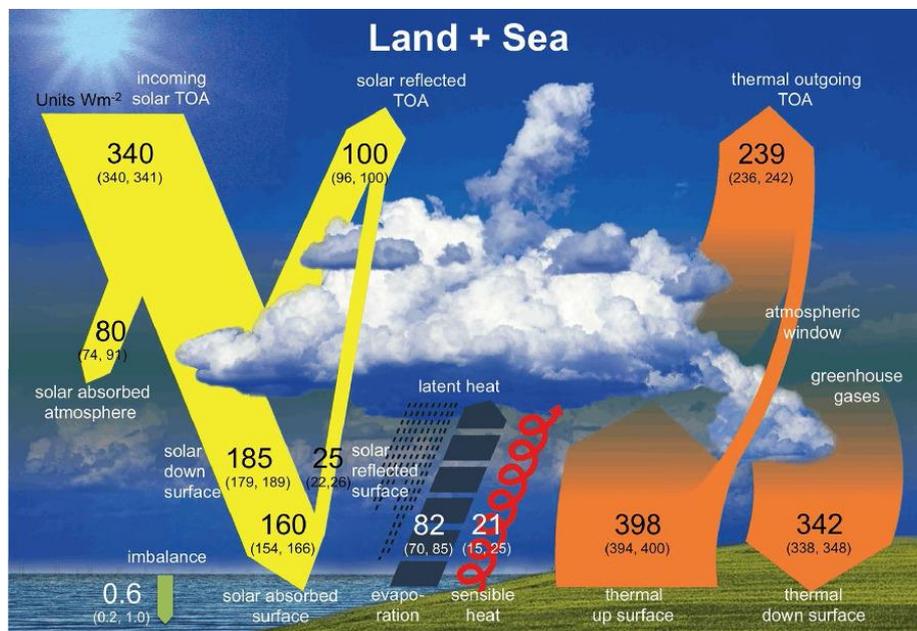
Em noites com **pouca** nebulosidade, a radiação de ondas longas **escapa** diretamente para o espaço. Já nas noites em que há céu **parcialmente** nublado, uma parcela da radiação de ondas longas **retorna** à superfície. Todavia, em noites com **bastante** nebulosidade, as nuvens absorvem quase toda a radiação de ondas longas e devolve para superfície. Esse efeito estufa noturno pode ser melhor compreendido observando-se a Figura 43 abaixo:



8.5 Balanço de energia e aquecimento global

Como visto, o sistema climático Terrestre é modelado pelo equilíbrio entre a radiação solar - ondas curtas - e a radiação termal - ondas longas. No último exemplo, nós estimamos que a temperatura média global da Terra é aproximadamente **15 °C**. Conforme discutido, isso apenas é possível pois os Gases de Efeito Estufa (GEE) aprisionam parte da radiação termal, emitida pela superfície. Entretanto, se a concentração de GEE aumentar, gradualmente, observar-se-á um desequilíbrio no sistema climático global em que sua restauração exigirá a elevação da temperatura do ar. Dessa forma, se a concentração de GEE continuar aumentando, o sistema climático terrestre estará em busca de um novo ponto de equilíbrio, ou seja, a Temperatura média global será superior à observada atualmente.

Figura 49 - Esquema do balanço de energia terrestre para um sistema aberto, ou seja, alterando-se a composição atmosférica.



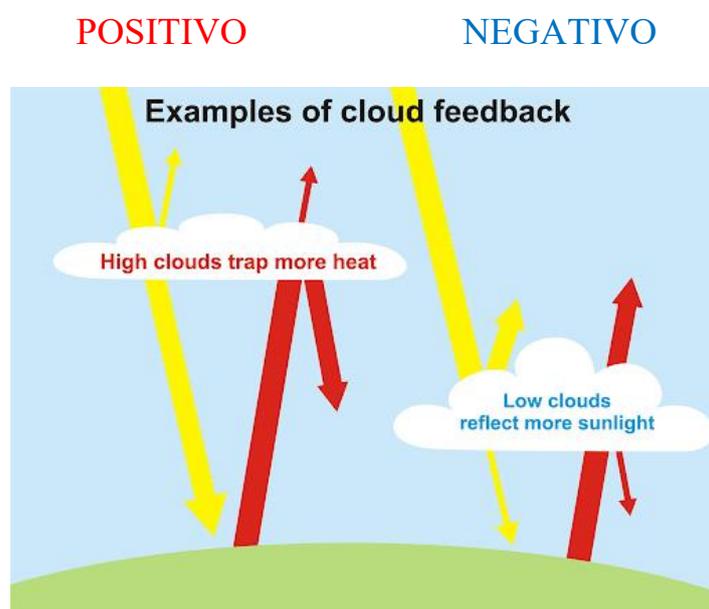
8.6 Processos de *Feedback*

Existem vários processos, na atmosfera, que podem desencadear *feedbacks* positivos ou negativos. Por exemplo, quando pensamos no aumento da temperatura média global, é natural imaginarmos que tal efeito cause o derretimento das camadas de gelo, portanto, se a cobertura de gelo diminuir, menos radiação solar - ondas curtas - será refletida de volta para o espaço, e, conseqüentemente, mais energia será absorvida pela superfície. Logo, acentua-se o aumento da temperatura do ar, que, por sua vez, acelera o processo de derretimento do gelo. Esse é um exemplo simples de *feedback* positivo. Por outro lado, um processo de *feedback* negativo seria o responsável por favorecer a estabilidade do clima, ou seja, retardar uma tendência de mudança. Por exemplo, quando pensamos no ciclo hidrológico - evaporação e nuvens -, tem-se que, quanto maior é a temperatura do ar, mais água será evaporada, e, conseqüentemente, mais nuvens formar-se-ão na atmosfera. Todavia, mais

nuvens representam um aumento do albedo atmosférico, o que contribui para uma redução da temperatura média global. Deste modo, enquanto os GEE causam o aumento da temperatura, o ciclo hidrológico tende a amortizar esta tendência.

É importante ressaltar que os processos de *feedback*, nas nuvens, ainda são uma das maiores fontes de incertezas nas projeções climáticas, pois, para algumas categorias de nuvens podemos ter *feedback* positivo, enquanto em outras *feedback* negativo. Um exemplo são as nuvens baixas – *stratus* - que refletem mais radiação solar (*feedback* negativo); e outro exemplo são as nuvens altas – *cirrus* - que absorvem mais radiação termal (*feedback* positivo).

Figura 50 - Esquema representando os processos de *feedback* em nuvens baixas e altas.



8.7 Modelos climáticos

Existem diferentes modelos climáticos, partindo-se dos mais simplificados - modelos de balanço de energia - aos modelos mais complexos - modelos de circulação geral da atmosfera. No subitem 4.4, utilizou-se um modelo simplificado, de dimensão zero, chamado, na literatura, de *Balance Energy Model* (BEM), estimando-se a temperatura, para um ponto hipotético qualquer. Contudo, também, existem os BEM de 1 dimensão – latitudinal - e de 2 dimensões – latitudinal e longitudinal. Já os Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (do inglês AGCM) são tridimensionais (Figura 51 e 52), uma vez que as variações no eixo vertical, também, são modeladas.

Nas simulações climáticas, assim como nas previsões de tempo, são utilizados modelos acoplados, que representam a interação entre a atmosfera e os oceanos: Atmosphere-Ocean General Circulation Model. Esses modelos são chamados pela abreviação AOGCM. O IPCC vem melhorando a resolução espacial, das simulações a cada novo relatório. Abaixo,

temos uma demonstração dos 4 primeiros relatórios do IPCC: *First Assessment Report (FAR)*, *Second Assessment Report (SAR)*, *Third Assessment Report (TAR)* e *Fourth Assessment Report (AR4)*.

Figura 51 - Resolução espacial dos relatórios do IPCC: FAR (1990), SAR (1995), TAR (2001) e AR4 (2007).

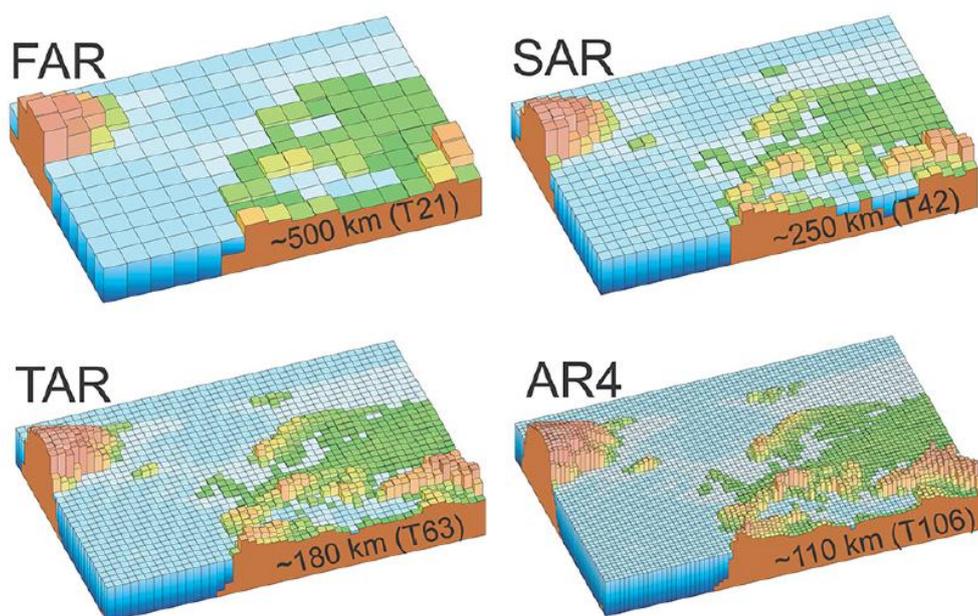
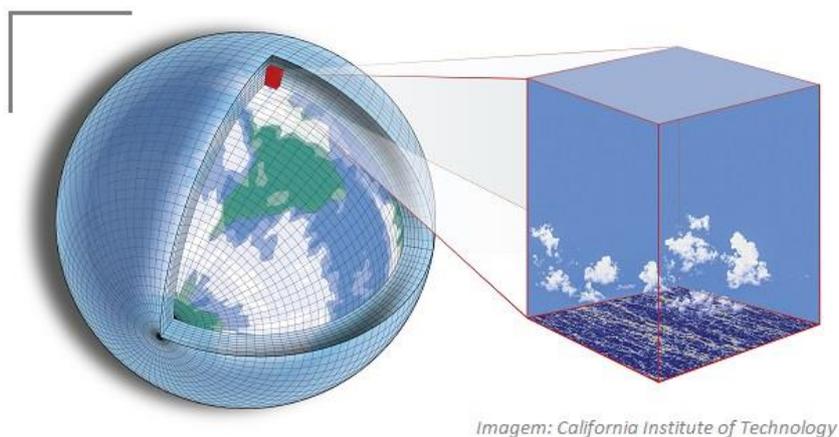


Figura 52 - Esquema de um modelo de circulação geral da atmosfera.



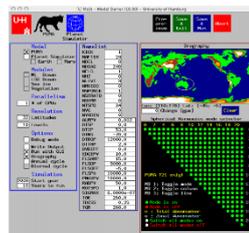
LINKS DE MODELOS CLIMÁTICOS



https://sci-web46-v01.ocio.monash.edu/mscm/greb/cgi-bin/scny_i18n.py?scenario=99&variable=01&locale=EN



<https://github.com/Emerson-D-Oliveira/GREB-GCR-v.0.1>

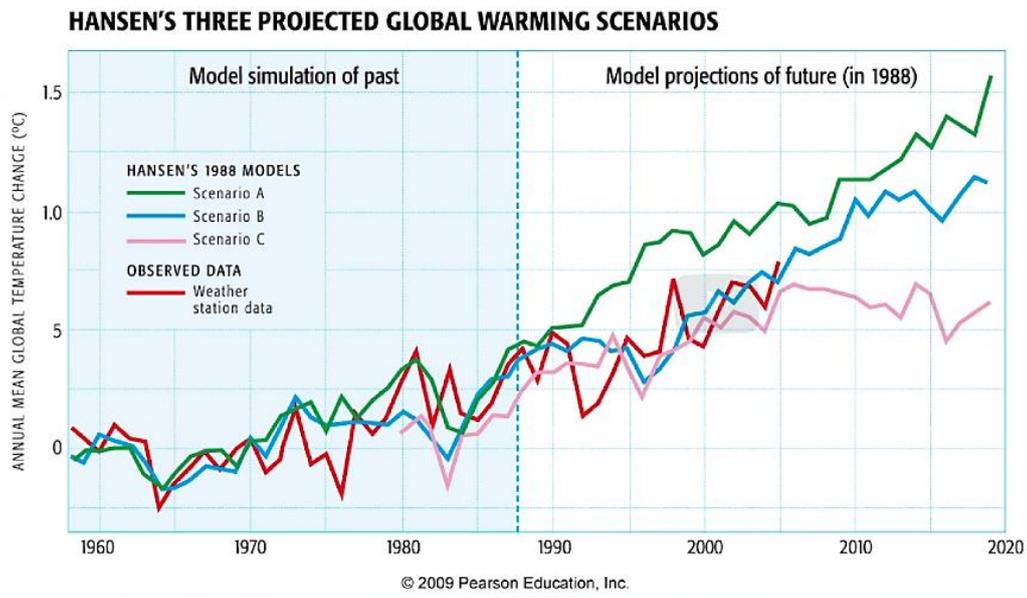


PlaSim <https://www.mi.uni-hamburg.de/en/arbeitsgruppen/theoretische-meteorologie/modelle/puma.html>

8.8 Validação de modelos climáticos

Para determinar se os resultados de um dado modelo climático são confiáveis, devemos confrontá-los com os dados observados. Na Figura 48, temos a validação do modelo *Goddard Institute for Space Studies (GISS)*, da NASA, desenvolvido sob a coordenação do climatologista James Hansen, que, além da reconstrução climática, adicionou projeções climáticas com 3 possíveis cenários de emissões de GEE. É possível constatar que o cenário B (cor azul) foi o que melhor se aproximou dos valores de temperatura observada. Essas simulações ocorreram no ano de 1988 e foram as primeiras a utilizar modelos tridimensionais. Embora as projeções se aproximem bastante dos dados observados, fatores alheios como a erupção vulcânica do monte Pinatubo (1991), podem distanciar a tendência projetada da observada.

Figura 53 - Gráficos das projeções climáticas simuladas por James Hansen com o modelo GISS da NASA.



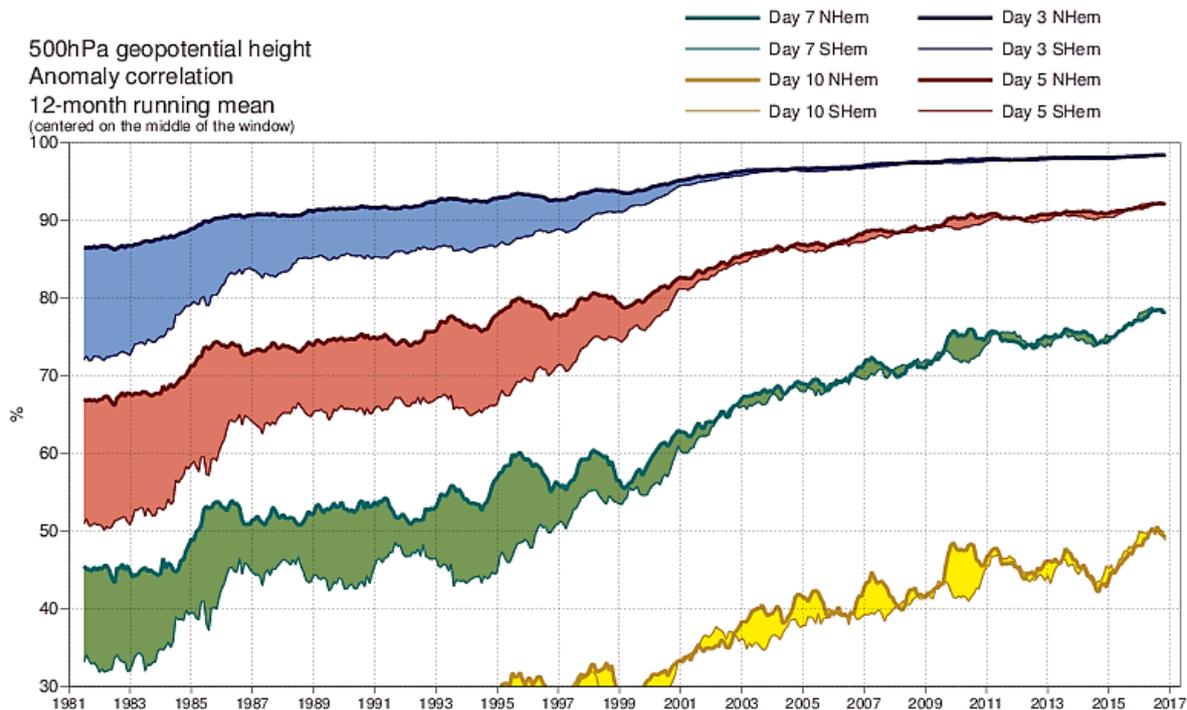
+ Saiba Mais

Nas últimas décadas, os modelos de previsão de tempo evoluíram bastante e agora conseguem ter uma taxa de acerto muito alta: acima de 90% para os primeiros 7 dias de previsão. Isso é muito importante, pois os principais modelos climáticos podem ser aprimorados a partir das constantes melhorias nos modelos de tempo. Abaixo, temos uma tabela contemplando os três principais modelos de previsão do tempo - Atmosphere-Ocean General Circulation Mode (AOGCM) - e um gráfico da evolução de acerto dos modelos nas últimas décadas.

Quadro 1 - Os três principais modelos globais de previsão do tempo adotados pelos serviços de meteorologia do mundo.

Organisation	Weather Model	Horizontal resolution	Vertical levels	Length of forecast
NOAA (USA)	Global Forecast System (GFS)	13km	64	16 days
UK MetOffice	Unified Model (UM)	10km	70	6 days
ECMWF (Europe)	Integrated Forecast System (IFS)	9km	137	10 days

Gráfico 2 - Evolução do percentual de acerto das previsões do tempo entre 1981 e 2017.



8.9 Cenários projetados – Quarto Relatório de Avaliação (AR4)

Os modeladores precisam levar alguns pontos em consideração na hora elaborar cenários climáticos, pois questões como o crescimento populacional e o desenvolvimento de novas fontes de energia, são capazes de ditar o aumento, estabilização ou redução da emissão de GEE na atmosfera. No Quarto Relatório, o IPCC considerou os seguintes cenários: B1 – Otimista; A1B – Intermediário; A2 – Pessimista.

Figura 54 – Cenários Projetados no Quarto Relatório

Cenário B1:

- Crescimento econômico rápido como em A1, mas com mudanças rápidas em direção a uma economia de serviços e informação.
- População aumentando para 9 bilhões, em 2050, e, em seguida, diminuindo como em A1.
- Reduções na intensidade do material e a introdução de tecnologias limpas e eficientes em termos de recursos.
- Uma ênfase em soluções globais para a estabilidade econômica, social e ambiental.

Cenário A1B:

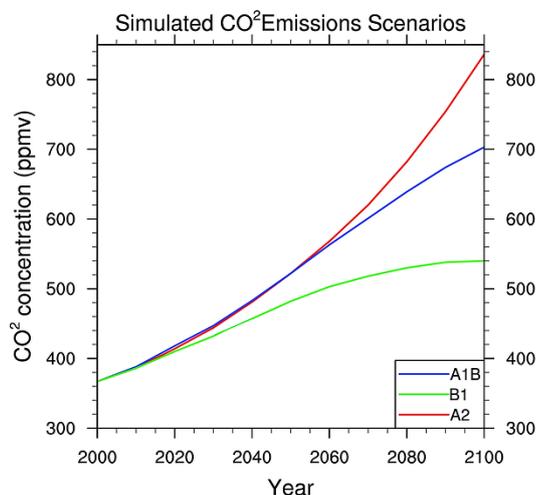
- Rápido crescimento econômico.
- A população mundial alcançará 9 bilhões, até 2050, e, então, entrará, gradualmente, em declínio.
- A rápida propagação de novas tecnologias.
- Renda e convergência do estilo de vida dos diferentes países do mundo.
- Extensas interações sociais e culturais em todo o mundo.
- Uma ênfase equilibrada em todas as fontes de energia.

Cenário A2:

- Um mundo de nações independentes e autossuficientes.
- População continuamente crescente.
- Desenvolvimento econômico com orientação regional.
- Mudanças tecnológicas mais lentas e fragmentadas e melhorias na renda *per capita*.

Fonte: IPCC

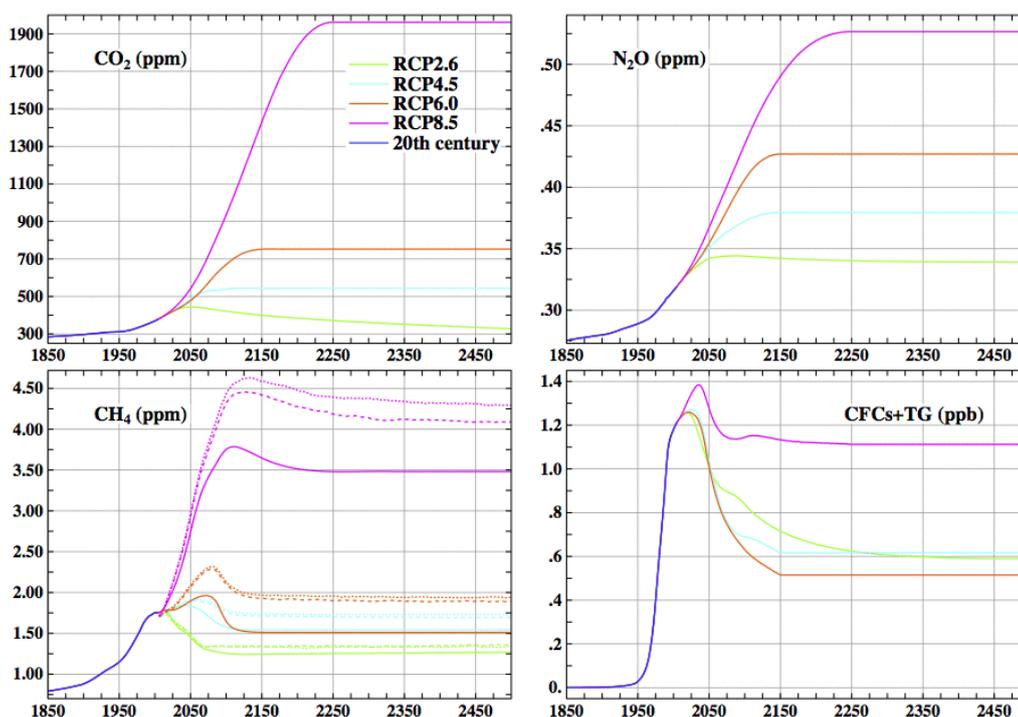
Gráfico 3 - Cenários de emissões de CO₂ adotados no AR4.



8.10 Cenários projetados – Quinto Relatório de Avaliação (AR5)

No Quinto Relatório, os cenários foram denominados pela sigla RCP (*Representative Concentrations Pathways*) que é acrescida de uma identificação numérica denominada de **forçante radiativa**, que indica o quanto de desequilíbrio está presente no balanço energético global. O quinto relatório do IPCC trouxe muitos cenários, mas podemos simplificar nossa análise focando no cenário mais otimista (RCP2.6) e no mais pessimista (RCP8.5). O cenário RCP2.6 sugere que a emissão de CO₂ poderia chegar a zero até o ano de 2080, atingindo o valor de 440 ppm, entretanto, em 2021, a concentração já se encontra em 418 ppm, ou seja, em 59 anos haveria um crescimento de apenas 22 ppm. Deste modo, a probabilidade de o clima evoluir como descrito no cenário RCP2.6 é muito baixa. Todavia, o cenário RCP8.5 aponta que, até o ano de 2100, o valor de CO₂ deverá atingir 950 ppm e, embora esse seja um valor elevado, é plausível, caso as emissões de GEE continuem aumentando aceleradamente.

Figura 55 - Todos os cenários do AR5 com ênfase a todos aos principais GEE



Fonte: IPCC

Cenário RCP2.6:

- Cenário **muito otimista** em que as emissões de CO₂ devem chegar a zero até o ano de 2080 (440 ppm).
- A população mundial alcançará 9 bilhões, até 2050, com um grande crescimento econômico.
- Haverá o aumento da utilização de biocombustíveis e energias renováveis.
- Aumento mais acelerado das áreas de cultivo e manutenção das tendências atuais de expansão das áreas de pastagem.

Cenário RCP 8.5:

- As concentrações de CO₂, na atmosfera, aceleram-se e atingirão 950 ppm, em 2100, e continuarão aumentando por mais 100 anos.
- O crescimento populacional é alto, atingindo 12 bilhões até 2100. Isso está no topo das projeções da Organização das Nações Unidas (ONU). Espera-se crescimento econômico e menor renda *per capita* nos países em desenvolvimento.
- Tendência de aumento das áreas de cultivo e pastagem, e redução das áreas de florestas.

Saiba Mais

Mudanças Climáticas e Desastres

https://www.youtube.com/watch?v=Xm49sGDY910&ab_channel=Minist%C3%A9rio_da_Ci%C3%Aancia%2CTecnologia_e_Inova%C3%A7%C3%B5es

Vamos revisar?

Neste Capítulo, vimos os conceitos de mudanças climáticas naturais e antropogênicas. Temos certeza de que você aprendeu sobre o ciclo solar, modelos climáticos de balanço de

energia, validações de modelos climáticos e como as projeções climáticas são formuladas. Estudamos que - se não fosse o Efeito Estufa, ou seja, a ação do vapor d'água e gases como dióxido de carbono, metano e outros - a temperatura média do nosso planeta seria algo em torno de -18.6 °C. Também, vimos que o aumento gradual da concentração de Gases de Efeito Estufa (GEE) pode gerar um desequilíbrio, no sistema climático global, que só poderá ser restaurado se o sistema elevar a temperatura média do planeta, ou seja, o aquecimento global.

Referências

BINTANJA, R.; VAN DE WAL, R.S.W; OERLEMANS, J. 2005. Modelled atmospheric temperatures and global sea levels over the past million years. **Nature**, v. 437, p. 125-128. DOI: 10.1038/nature03975

BUDYKO, M. I. The effect of solar radiation variations on the climate of the Earth. **Tellus**, v. 21, p. 611–619. 1969. DOI: 10.1111/j.2153-3490.1969.tb00466.x

BRAY, J. R. Solar-Climate Relationships in the Post-Pleistocene. **Science**, New Series, v. 171, p. 1242-1243. 1971.

IPCC. **Climate Change 2014**: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Core Writing Team, R.K.

SELLERS, W.D. A global climatic model based on the energy balance of the Earth–atmosphere system. **J. Appl. Meteor**, v. 8, p. 392–400. 1969. DOI: 10.1175/1520-0450(1969)008

SVENSMARK, H; FRIIS-CHRISTENSEN, E. Variation in cosmic ray flux and global cloud coverage a missing link in solar–climate relationships. **J Atmos Sol Terr Phys**, v. 59, p. 1225. 1997. DOI: 10.1016/S1364-6826(97)00001-1

OWENS, M. J.; McCracken, K. G; Lockwood, M.; Barnard, L. The heliospheric Hale cycle over the last 300. 2015.

9. Mudanças Climáticas

Olá, caro(a) aluno(a)!

Para começarmos a nossa conversa, gostaríamos de trazer algumas perguntas: quais são os possíveis impactos das mudanças climáticas? Se a temperatura média global continuar subindo, quais serão as consequências econômicas, sociais e ambientais? Essas perguntas são respondidas nos relatórios divulgados, pelo IPCC, em que projeções climáticas apontam as consequências das mudanças no clima se considerarmos diferentes cenários.

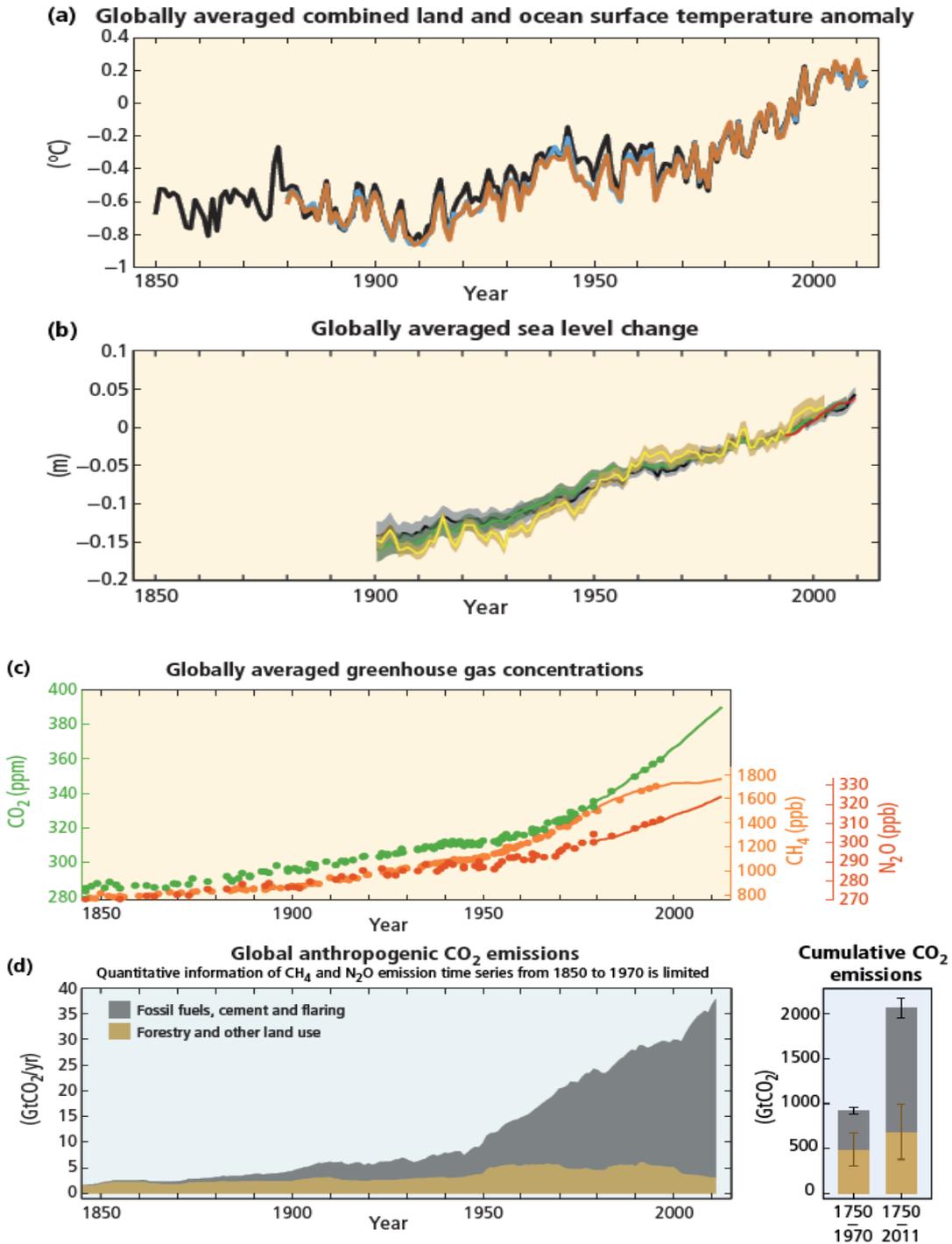
No Quinto Relatório AR5, é possível saber quais locais, do mundo, serão afetados por reduções nas chuvas; estimar o impacto econômico e social; como a saúde humana será afetada pelo aquecimento global etc. Algumas técnicas agrícolas deverão ser adotadas para contornar o impacto das mudanças climáticas, na produção de alimentos, destacando-se o cultivo em locais com controle das condições ambientais. Caso das fazendas verticais, que estão se popularizando no mundo inteiro. Vamos nos aprofundar na temática?

9.1 Mudanças Observadas

Atualmente, temos à nossa disposição muitos dados meteorológicos! Enquanto uma parcela deles foi obtida a partir de medições diretas, os demais foram estimados por meio de métodos indiretos. Por exemplo: a variação da concentração de CO₂, desde o período pré-industrial até a década de 50, é amplamente conhecida por causa dos núcleos de gelo. Nas séries históricas, é possível verificar que, assim como os GEE estão aumentando sua concentração, desde a revolução industrial, a temperatura média global e o nível médio do mar estão subindo desde então. Nesse período, não foram observadas anomalias na irradiância solar que justifiquem a tendência de aumento da temperatura global. Enfim, conclui-se que o aumento contínuo dos GEE está causando o aquecimento global.

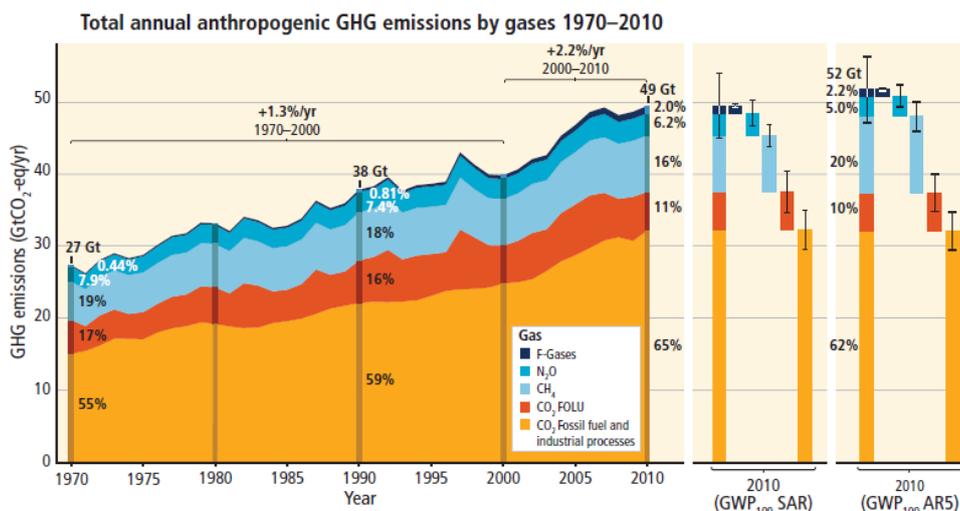
Nas próximas páginas, são apresentados gráficos publicados no AR5, destacando-se o gráfico com a contribuição das duas principais fontes de emissões de CO₂, que podem ser de origem vegetal ou da queima de combustíveis fósseis. É importante explicar, um pouco, sobre o método adotado pelos cientistas para distinguir essas emissões. Primeiramente, sabe-se que existem diferentes isótopos de carbono, na natureza, sendo que, na atmosfera terrestre, há o predomínio de ¹²C, ¹³C e ¹⁴C. Assim, enquanto o ¹⁴C é considerado um isótopo instável, com uma meia vida em torno de 5700 anos, o ¹²C e o ¹³C são estáveis. Deste modo, calculando-se a razão entre os isótopos ¹³C e ¹²C (chamada de $\delta^{13}\text{C}$) e sabendo-se que os combustíveis fósseis possuem uma razão $\delta^{13}\text{C}$ inferior à presente, na atmosfera, deduz-se que se a razão $\delta^{13}\text{C}$ diminuir, gradualmente, na atmosfera, o carbono de origem fóssil está se tornando predominante, o que de fato vem sendo observado.

Figura 56 - (a) Temperatura média global (b) Nível médio do mar (c) Gases de efeito estufa (d) Fontes de emissões de CO₂



O aumento dos GEE vem acelerando com o passar dos anos. Entre 1970 e 2000, a taxa de aumento era de 1,3%, ao ano, mas, entre 2000 e 2010, essa taxa pulou para 2,2%. Na Figura 52, podemos observar os valores do dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e CFCs em Gigatons. Também, podemos verificar o potencial de causar aquecimento global (*Global Warming Potential* - GWP) do segundo (SAR) e Quinto Relatório (AR5) do IPCC. Verifica-se que o CO₂, de origem fóssil, contribui em mais de 60% para o aquecimento global observado nas últimas décadas.

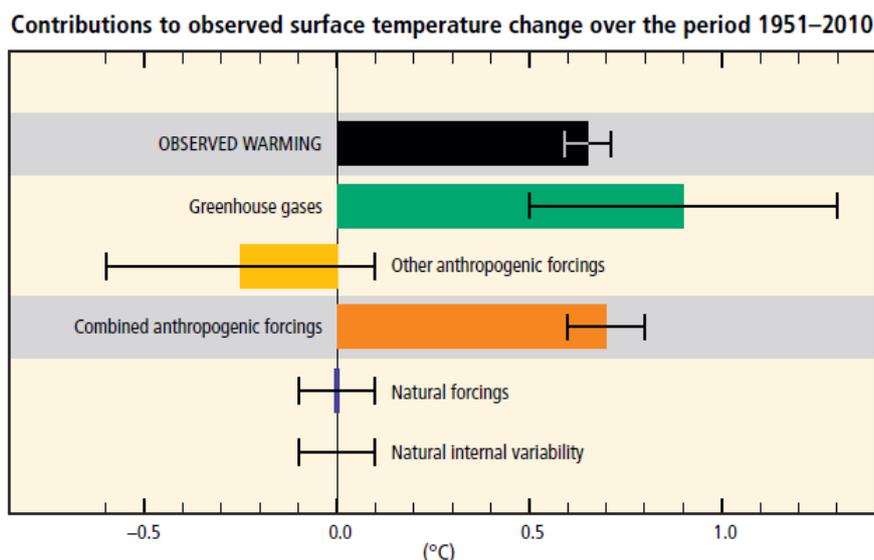
Figura 57 - Evolução da emissão de diferentes gases de efeito estufa na atmosfera em Gigatons.



Fonte: IPCC.

Embora a emissão de GEE provoque o aumento da temperatura média global, deve-se considerar que outros materiais liberados, na atmosfera, pelo ser humano, contribuem para reduzir a temperatura média global. Estes são predominantemente aerossóis, que contribuem refletindo mais radiação solar de volta para o espaço, conforme veremos na Figura.

Figura 58 - Contribuição de diferentes forçantes climáticas para o aquecimento global observado.



Fonte: IPCC

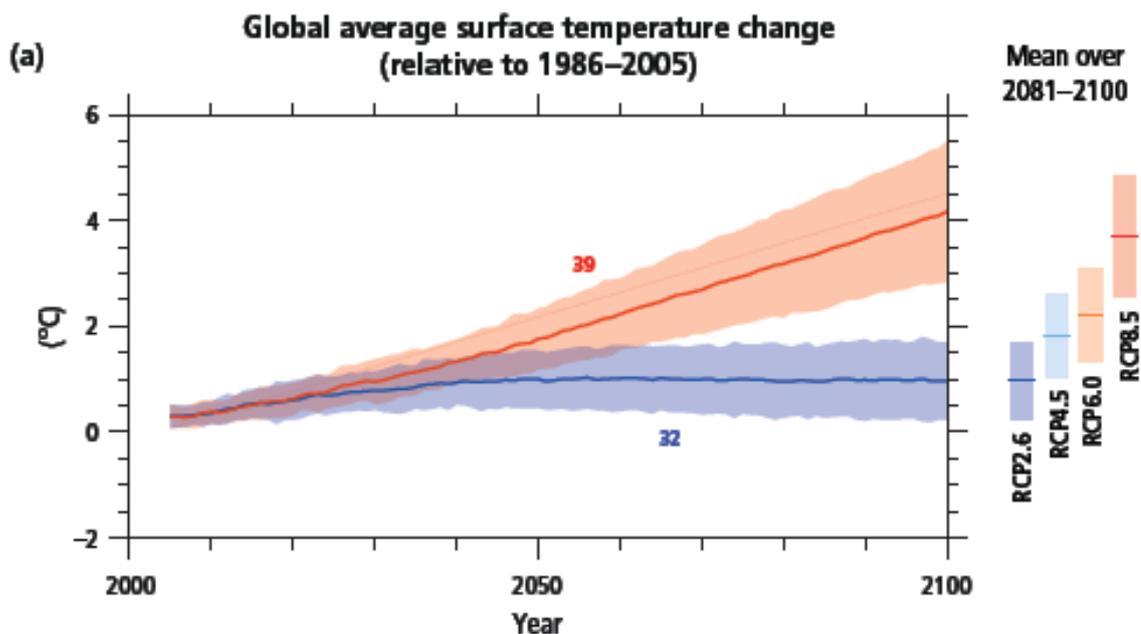
Verifica-se, nessa Figura, que a barra preta indica o aquecimento global observado; a barra verde indica o aquecimento global esperado devido à emissão de GEE; em amarelo, temos

o resfriamento global esperado, devido à liberação de aerossóis, na atmosfera; e, na cor laranja, temos a diferença entre as barras verde e amarela.

9.2 Projeções climáticas

A projeção da temperatura média global, no período entre 2016 e 2035 (em relação a 1986–2005), é semelhante para os quatro cenários RCPs e, provavelmente, está na faixa de 0,3 °C a 0,7 °C (confiança média). Isso pressupõe que não haverá grandes erupções vulcânicas ou mudanças em algumas fontes naturais, por exemplo, CH₄ e N₂O, ou mudanças inesperadas na irradiância solar total. Em meados do século 21, a magnitude da mudança climática projetada é substancialmente afetada pela escolha do cenário de emissões. Em relação a 1850-1900, a mudança da temperatura global para o final do século 21 (2081–2100) é projetada para exceder 1,5 °C no RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5 (alta confiança). Todavia, o aquecimento deverá exceder 2 °C para RCP6.0 e RCP8.5 (alta confiança). O aumento da temperatura média global da superfície, até o final do século 21 (2081–2100), em relação a 1986–2005, deve ficar entre 0,3 °C e 1,7 °C (RCP2.6), 1,1 °C a 2,6 °C (RCP4.5), 1,4 °C a 3,1 °C (RCP6.0) e 2,6 °C a 4,8 °C (RCP8.5). Por fim, as projeções apontam que a região Ártica continuará a aquecer mais rapidamente do que a média global.

Figura 59 - Cenários da temperatura superficial média global com todos os cenários do IPCC AR5.

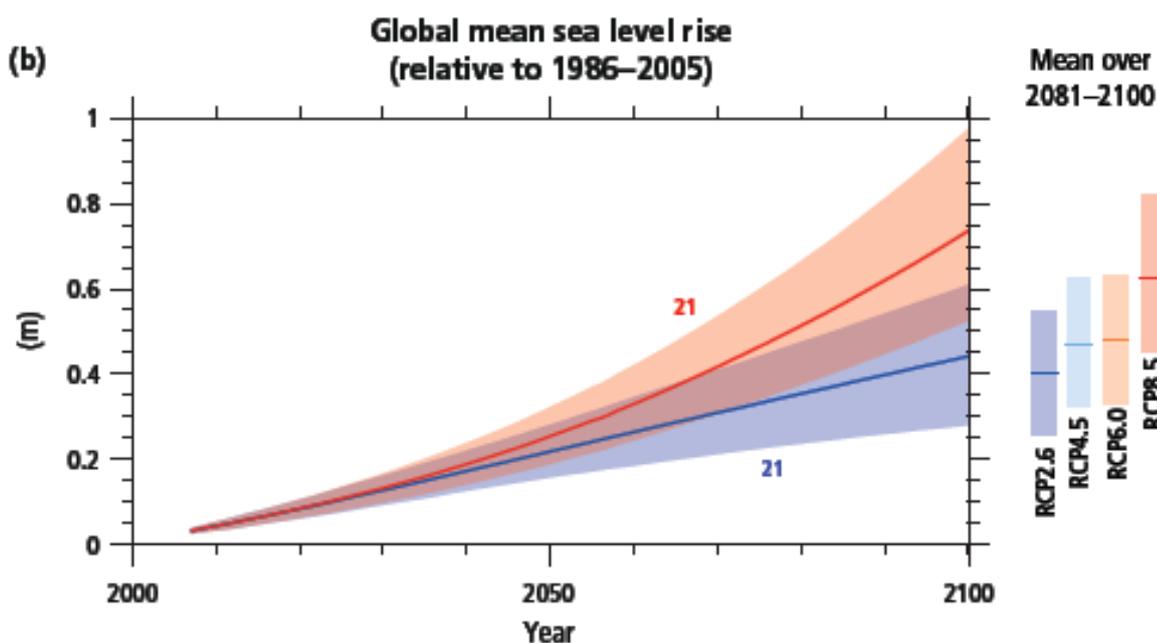


Fonte: IPCC

Em todos os cenários projetados, o nível médio do mar apresenta uma persistente tendência de aumento, podendo-se chegar a 0,4 metros com o cenário RCP2.6 e, até 1 metro, no cenário RCP8.5. Essa elevação está ocorrendo devido ao derretimento das grandes geleiras. Espera-se que, nas próximas décadas, o gelo do Ártico não mais se forme no

hemisfério norte, o que não afeta, imediatamente, o aumento do nível do mar, pois segue o mesmo princípio do copo de água com gelo. No entanto, o desaparecimento do gelo, no mar Ártico, vai elevar a temperatura e acelerar o derretimento do gelo continental da Groelândia. Nesses casos, o derretimento despeja mais águas nos oceanos e favorece a elevação gradual do nível dos oceanos. As projeções do IPCC são consideradas otimistas, tendo em vista que o processo físico de derretimento do gelo continental, nos modelos climáticos, é bastante simplificado. Entretanto, os próximos cenários, do IPCC, prometem acoplar modelos mais complexos de derretimento/formação de gelo. Portanto, espera-se que o nível médio do mar projetado seja um pouco superior às atuais projeções.

Figura 60 - Cenários da elevação do nível médio do mar pelos cenários do IPCC - AR5.



Fonte: IPCC

No cenário RCP8.5, o aumento regional de temperatura poderá chegar até 10 °C, no polo norte, e, entre 3 e 5 °C, na América do Sul. No cenário RCP2.6, a temperatura vai subir e se estabilizar em 2 °C, na América do Sul, e chegará até 4 °C no polo norte. Em relação à precipitação, o cenário RCP8.5 aponta um maior volume de chuvas, no equador do oceano pacífico e nos polos, enquanto aponta redução das chuvas no Brasil, América Central, Oeste Europeu e Sul da África. Mesmo o cenário RCP2.6 ainda mantém esse padrão de pluviosidade. Uma das principais consequências do aquecimento global é que se os polos aquecerem haverá o enfraquecimento da circulação das correntes de jato. A corrente de jato só existe devido ao contraste térmico entre os polos e os trópicos. O aumento da temperatura dos polos vai enfraquecer o contraste térmico e deslocar a corrente de jato subtropical para latitudes mais altas. Abaixo da corrente de jato subtropical se encontra o chamado cinturão de alta pressão, que é marcado pela ocorrência de ventos descendentes, inibindo a formação de nuvens de chuva. Portanto, os principais desertos do mundo se encontram nesse cinturão,

por exemplo, deserto do Saara e do Atacama, e o que as projeções indicam é que este cinturão irá levar o clima seco para regiões que hoje são consideradas úmidas, fazendo-se com que os cinturões de alta pressão se desloquem para latitudes mais altas.

Figura 61 - Cenários da temperatura e precipitação global para o cenário mais otimista (RCP2.6) e o mais pessimista (RCP8.5).

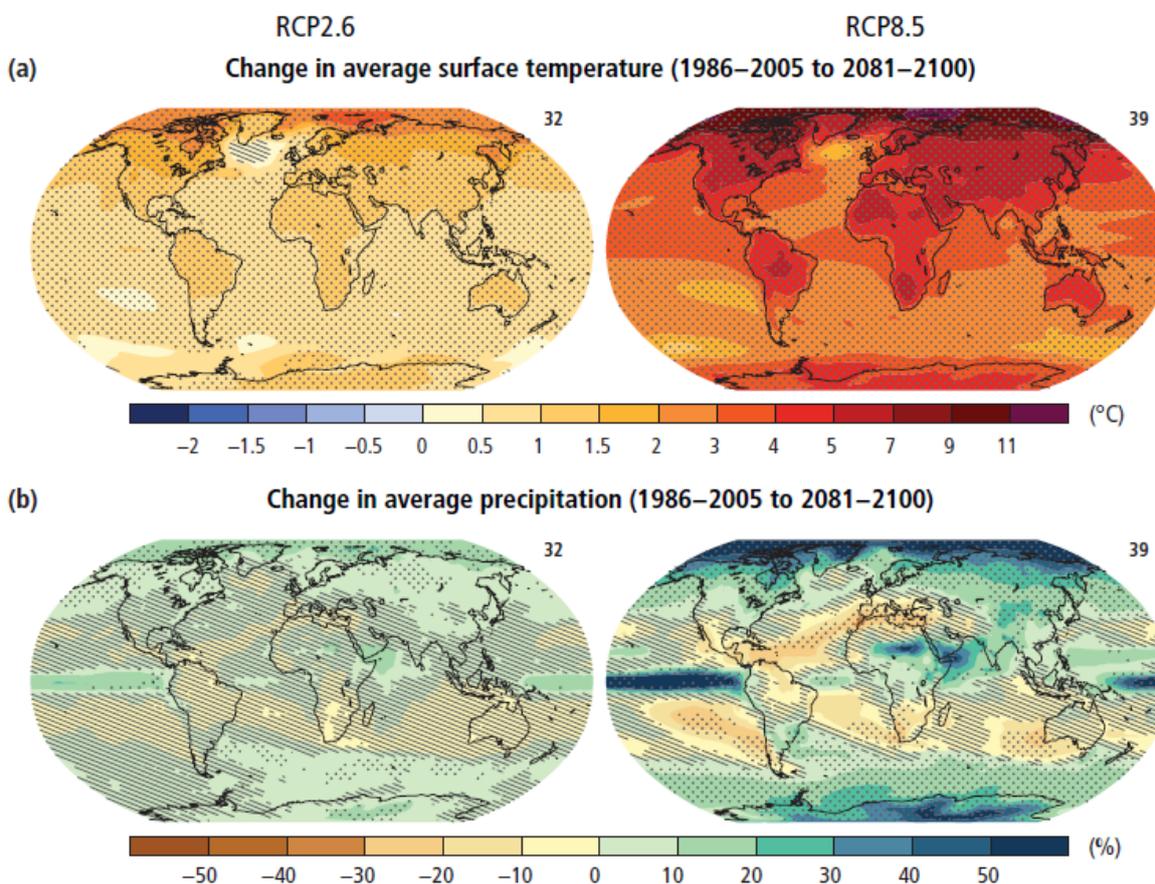
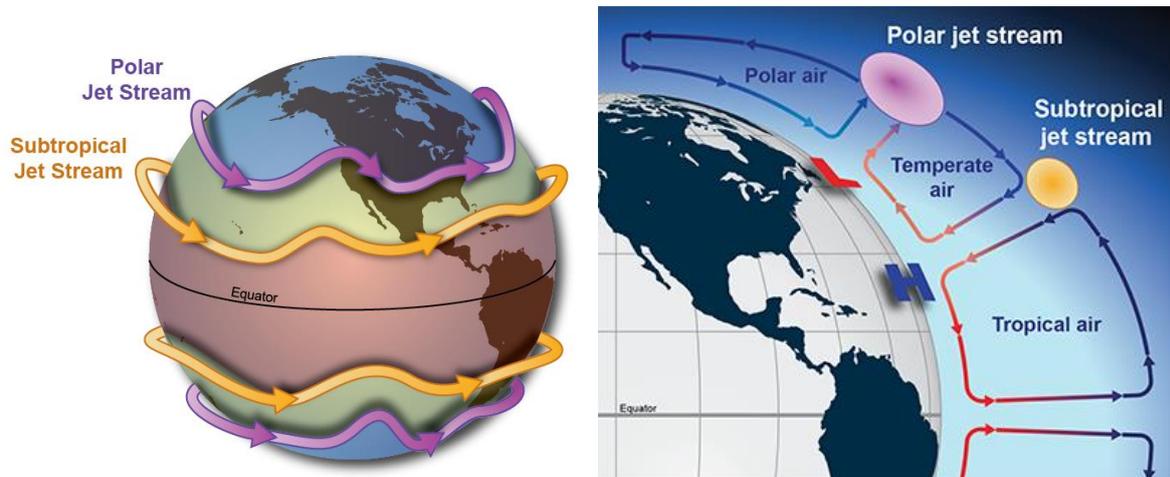
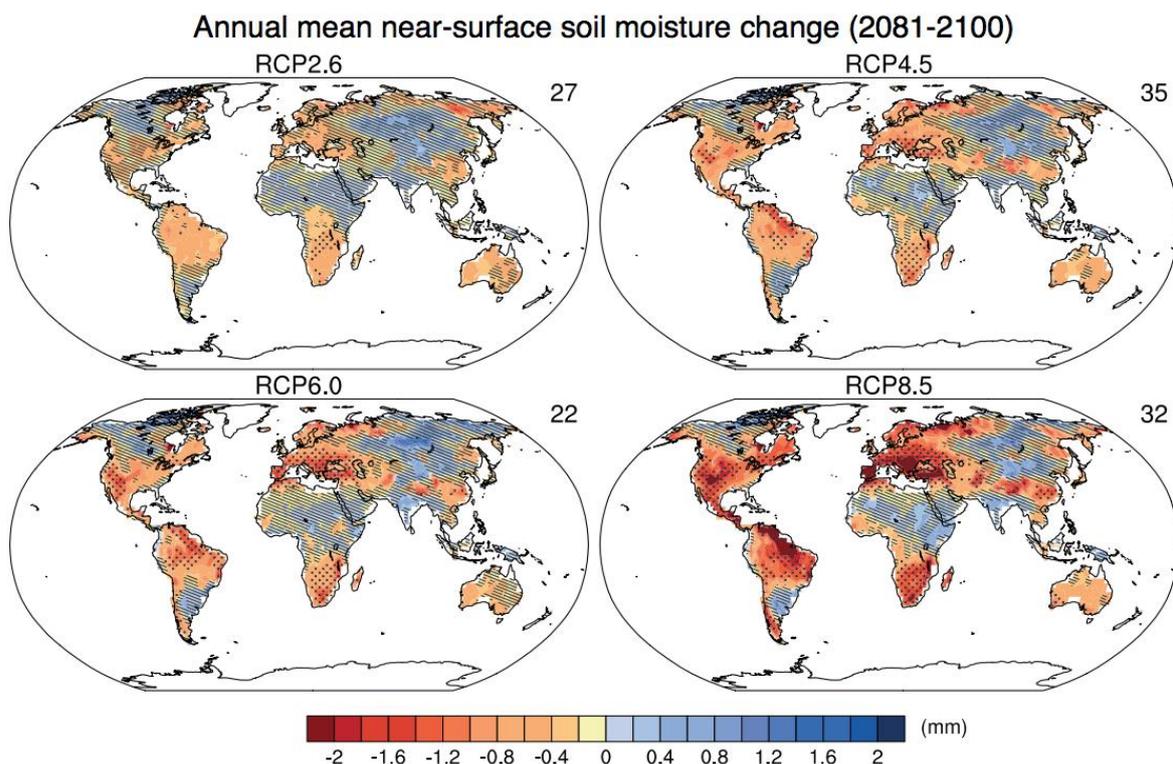


Figura 62 - Esquema representando a formação da corrente de jato e sua relação meridional com a circulação atmosférica, locais de divergência e convergência atmosférica.



Embora a precipitação projetada se intensifique em alguns locais, do globo, isso não significa, necessariamente, que haverá mais água disponível nesses locais. Se pensarmos nos continentes e na umidade do solo, devemos considerar o fato de que a temperatura do ar, mais elevada, potencializará a evaporação e a evapotranspiração.

Figura 63 - Cenários da temperatura e precipitação global para o cenário mais otimista (RCP2.6) e o mais pessimista (RCP8.5).



Observa-se, na Figura 9.8, que as projeções apontam um aumento da umidade do solo no norte da África (deserto do Sahara), no sul do Brasil, na Índia, na Rússia, no oeste do Canadá e na Nova Zelândia. Nas demais localidades, espera-se uma redução da umidade do solo. É muito importante ponderar, nas projeções, quais são, isoladamente, as contribuições da evaporação e da precipitação. Desta forma, é possível mensurar quais as mudanças projetadas para o balanço hídrico.

9.3 Fontes de incertezas

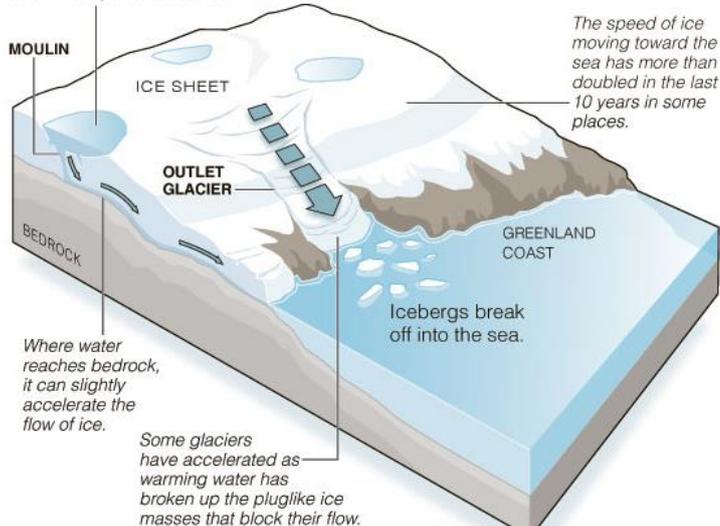
Os modelos de formação e derretimento de gelo são incapazes de representar alguns processos que ocorrem nas calotas de gelo. Cabe destacar o efeito *Moulins* - do francês Moinhos -, que se caracteriza pela formação de áreas de descongelamento, no interior da calota de gelo, e que transporta a água derretida, subsuperficialmente, até encontrar os oceanos. O fluxo da água derretida, nesse efeito, gera grandes cavernas de gelo. Já o processo físico que o origina ainda está sendo compreendido e deverá ser representado nas próximas projeções climáticas.

Figura 64 - Esquema do efeito Moulins e imagem real do fenômeno.

Slipping Away

Greenland is losing ice faster than it can be replaced through snowfall.

MELT WATER LAKES form in the spring. Water widens cracks in the ice, forming drainlike apertures called moulins.



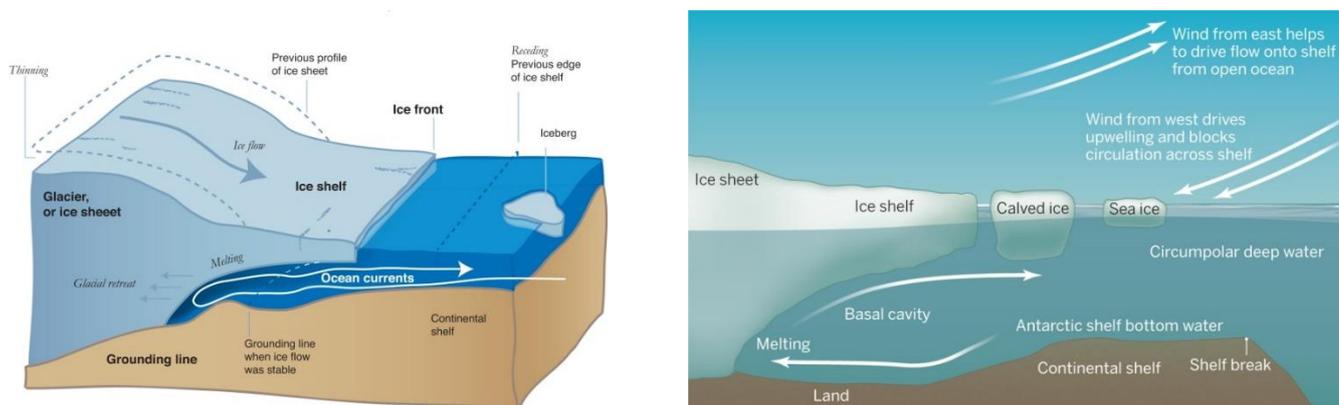
Source: NASA

THE NEW YORK TIMES



Outro processo que merece destaque é o efeito *Buttressing* - do inglês, Apoio -, que se caracteriza pela formação de barreiras de gelo, em constante contato com as águas do mar, e que são o berçário dos *icebergs*. O aumento da temperatura média do mar traz instabilidade, ao sistema, ocasionando a separação de grandes plataformas de gelo e, conseqüentemente, desprotegendo o gelo continental que está no interior. Esse fenômeno é muito complexo e as próximas projeções climáticas devem melhorar a sua representação física.

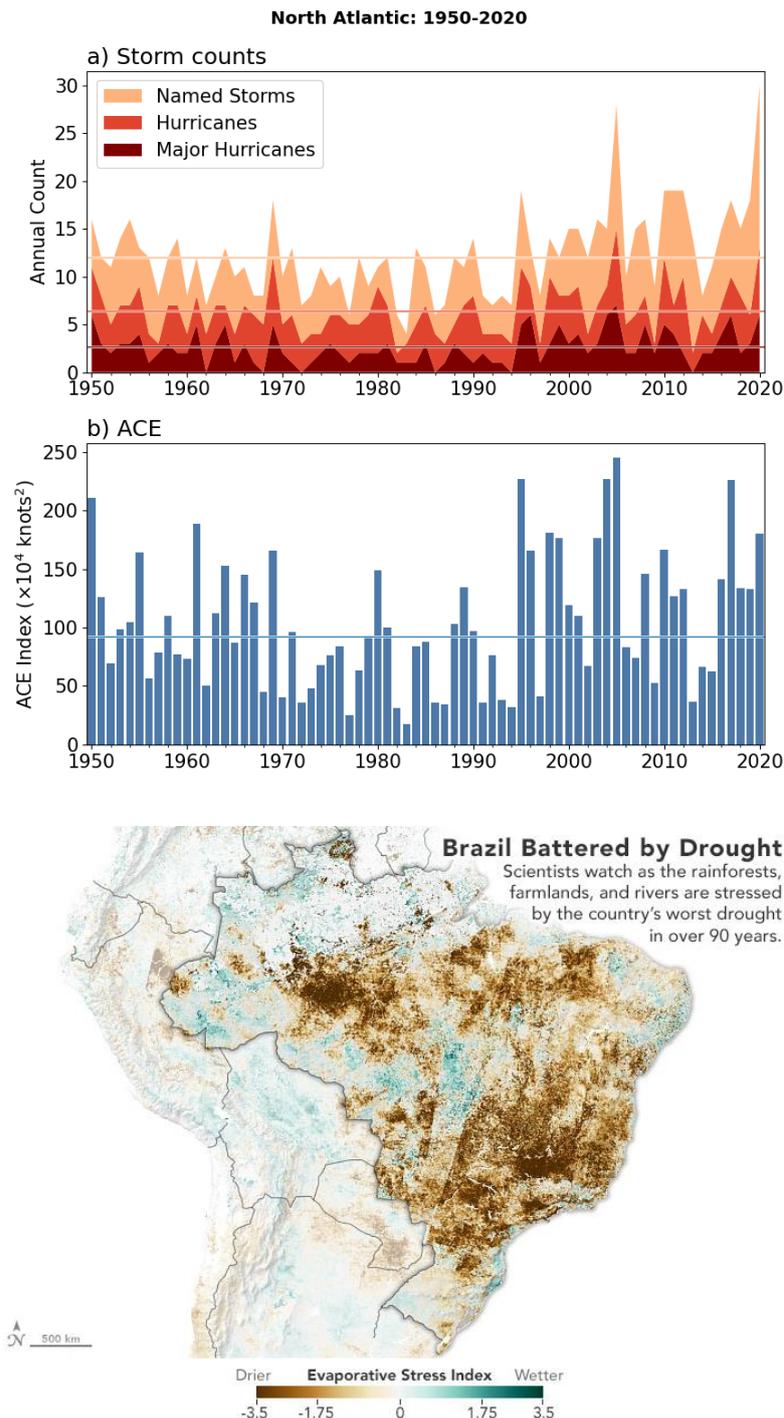
Figura 65 - Esquemas representando a ocorrência do efeito *Buttressing* nas plataformas de gelo.



9.4 Consequências do aquecimento global

Em decorrência do aquecimento global, espera-se um aumento da frequência e intensidade dos eventos extremos: furacões, tornados, enchentes e secas. A temporada de furacões, de 2020, bateu recorde com o registro de 30 furacões no Atlântico Norte, sendo o recorde anterior, em 2005, com 28 registros. Em 2015, ocorreu o furacão mais intenso já registrado, **Patrícia**, alcançando uma velocidade média de 345 km/h. Se por um lado, o aquecimento global poderia evitar muitas mortes, por frio extremo, por outro lado, o calor extremo poderá tirar muitas vidas. No ano de 2003, cerca de 30 mil cidadãos europeus perderam a vida devido a uma onda de calor. Eventos de onda de calor estão se tornando mais frequentes. Em 2010 e 2018, também, ocorreram ondas de calor fatais e a tendência é que esses eventos se tornem mais recorrentes. Em 2021, uma forte onda de calor afetou a costa oeste da América do Norte concentrando-se entre *Vancouver* e *Seattle*, registrando-se a temperatura máxima de 49.6 °C, em *Lytton village*, quebrando todos os recordes anteriores. Ainda em 2021, foram observadas chuvas torrenciais, na Alemanha e na China, destacando-se a província chinesa de *Henan*, na qual, em apenas 4 dias, choveu mais do que o total esperado para o ano inteiro. No Brasil, em 2021, o estado do Amazonas registrou a maior cheia histórica do Rio Negro, contudo, as demais regiões estão enfrentando a pior seca em 91 anos.

Figura 66 - Gráficos da contagem anual de ciclones tropicais e o poder energético desses eventos



Fonte: NOAA); Seca no Brasil em 2021, Evaporative Stress Index, NASA.

Outra consequência, relacionada ao aquecimento global, é o agravamento da desnutrição e da desidratação entre as pessoas que vivem nas regiões mais pobres, pois estariam mais vulneráveis às mudanças no ciclo hidrológico e na produtividade agrícola. Vale destacar, também, as doenças transmitidas por vetores – como mosquitos, a exemplo da malária e a febre do Nilo - que podem ocorrer em locais de latitude mais elevada como consequência

do aumento de temperatura e das condições ambientais favoráveis à propagação desses insetos.

Figura 67 - Imagens que retratam a transmissão de doenças por mosquitos e o provável retrocesso mundial na área de segurança alimentar.



A crise climática, também, pode aumentar os conflitos armados. A guerra da Síria, que já se prolonga por mais de 10 anos, teve início a partir da insatisfação de agricultores locais que enfrentavam uma forte seca e não estavam recebendo o amparo esperado por parte dos governantes. Analogamente, as condições climáticas desfavoráveis no sertão brasileiro também forçaram o sertanejo a unir forças na luta pela sobrevivência. Lembremo-nos da comunidade criada, por Antônio Conselheiro, no sertão da Bahia, que se tornou parte da triste história brasileira de conflitos, no campo: a Guerra de Canudos. Outro exemplo parecido ocorreu, no estado do Ceará, tornando-se conhecido como o Massacre do Caldeirão.

Figura 68 - Escombros de uma cidade na Síria e sertanejos armados desafiando as oligarquias no Brasil Império.



Circunstâncias da seca que fizeram eclodir a Guerra Civil Síria

No passado, os agricultores sírios dispunham de terras relativamente férteis e produtivas, e entre as décadas de 1970 e 1990 se beneficiaram do apoio estatal à produção de alimentos básicos. Desde os anos 80, porém, o país de cerca de 17 milhões de habitantes foi atingido por três secas: a mais recente, estendendo-se de 2006 a 2010, foi classificada como a pior desde os primeiros registros, há cerca de 900 anos (DW, 2021)

Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/como-a-mudan%C3%A7a-clim%C3%A1tica-precipitou-a-guerra-civil-na-s%C3%ADria/a-56738737>

9.5 Mitigação do aquecimento global

A geoengenharia é a manipulação intencional de nosso meio ambiente em escala global. Todavia, os impactos antropogênicos, no nosso clima, não se qualificam como tal, pois sua intenção não era mudar o clima. A geoengenharia, neste ponto, ainda é, amplamente, teórica, pois nunca foi implantada em escala global, mas há provas desse conceito. Uma primeira possibilidade seria a *Carbon Capture and Sequestration (CCS)*. O sequestro de carbono, da atmosfera, seria o modo menos intrusivo de geoengenharia. O sequestro, logo após a queima de carvão - antes de se misturar com a atmosfera -, assim como a ampliação de áreas de florestas e adoção de métodos de sequestro em processos industriais, como aço, cimento, refino de petróleo, fábrica de papel. Porém, a CCS é economicamente inviável atualmente.

Uma alternativa foi proposta por Klaus Lackner da Universidade do Arizona: a criação de árvores mecânicas – artificiais que têm maior poder de sequestrar carbono atmosférico do que árvores naturais. Embora a tecnologia para fabricação, dessas árvores artificiais, já esteja disponível, a sua aplicabilidade é limitada, tendo em vista o seu alto custo. No fim, a alternativa mais viável é o reflorestamento e a preservação dos ecossistemas.

Figura 69 - Fotografia da árvore mecânica capaz de sequestrar e armazenar carbono da atmosfera.



Uma outra possibilidade de geoengenharia seria o lançamento proposital de aerossóis, na atmosfera, com a finalidade de reduzir o fluxo de radiação solar. Esse conceito visa replicar o que ocorre com os vulcões. Se a cada 3 anos uma grande quantidade de aerossóis fosse liberada, na atmosfera, sentiríamos uma atenuação do aquecimento global. Entretanto, esse conceito funciona bem apenas em modelos climáticos simplificados. Nos modelos de alta complexidade, o que se observa é que, embora a temperatura média global se mantenha, haveria regiões, do mundo, com forte aquecimento, e outras com forte resfriamento. O simples fato de tentar interferir no clima, sem conhecer toda a sua dinâmica, é muito arriscado, podendo nos colocar em uma situação até pior que as projeções climáticas apontam. Um outro método de bioengenharia se baseia na fertilização dos oceanos, disponibilizando ferro, que serve de nutriente para algas e que são fonte de alimento de peixes, que, ao morrerem são depositados no fundo oceânico. Contudo, essa fertilização poderia causar o crescimento seletivo de algumas algas, como as algas de marés vermelhas, o que traria desequilíbrio ao ecossistema marinho.

Figura 70 - Vulcão Pinatubo em erupção.



A forma mais certa de mitigar os efeitos do aquecimento global é por meio da construção de cidades sustentáveis, utilizando-se fontes renováveis de energia e estimulando boas práticas industriais de manejo e utilização dos recursos naturais. Nesse sentido, as cúpulas climáticas contam com a assinatura de acordos de compromisso de diversos Chefes de Estados, representando os esforços de todo o mundo no enfrentamento às mudanças climáticas. Esses acordos visam garantir um processo gradual de redução da emissão de gases de efeito estufa, a preservação de ecossistemas, incentivar novas áreas de reflorestamento e o surgimento de novas tecnologias como forma de solucionar problemas como o saneamento, poluição, reciclagem, etc. A maneira mais viável de evitar um cenário de forte aquecimento global é adotando estas medidas, o quanto antes, pois o rápido aquecimento resultará na incapacidade de adaptação dos seres vivos, ameaçando a biodiversidade e impactando nós seres humanos.

Figura 71 - Imagens que retratam a popularização dos carros elétricos, o estímulo à reciclagem, e, uma Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) (Fazenda do Bulcão).



9.5 Adaptação e Agricultura

Se considerarmos que o aquecimento global não poderá ser “freado”, então, a sociedade terá que se preparar, antecipadamente, para se adaptar aos novos padrões climáticos, ou seja, desenvolver soluções inteligentes para contornar as limitações impostas pelas novas

condições ambientais nas mais diferentes partes do mundo. Por exemplo, em regiões onde as projeções indicam que haverá déficit hídrico, maior amplitude térmica e maiores rajadas de vento, a produção agrícola - de culturas tidas como tradicionais – será inviável comercialmente. Desse modo, alguns avanços já podem ser observados, atualmente, como o caso das fazendas verticais, cujo conceito foi cunhado, em 1999, pelo biólogo Dickson Despommier, da Universidade de Columbia, em Nova York.

Entretanto, Dickson não foi o primeiro a idealizá-lo, já que, em 1979, o físico Cesare Marchetti havia desenvolvido algo similar. Uma fazenda vertical é um conjunto espacial destinado à produção de alimentos e remédios em camadas verticais. Essa prática, pensada, principalmente, para os grandes centros urbanos, tem sido vista como a tecnologia do futuro para alimentar as próximas gerações. As críticas, a esse método de plantio de hortaliças, apontam que o custo energético torna o alimento demasiadamente caro e que a sua popularização inviabilizará a atuação de pequenos agricultores, no mercado, a exemplo da agricultura familiar.

Outra solução inteligente, já adotada por agricultores, atualmente, é a utilização de telas sombrites, que, além de filtrar parte da radiação de ondas curtas, conseguem reter parte da radiação de ondas longas e, também, bloquear a circulação do vento. Investir em tecnologias para aprimorar o manejo e uso da água é fundamental para o processo de adaptação às mudanças climáticas. Em Israel, por exemplo, tem-se um eficiente processo de reaproveitamento da água, em quem o esgoto tratado é utilizado para irrigar plantações em meio ao deserto. O investimento em biotecnologia, ou seja, em plantas geneticamente modificadas, e que podem se desenvolver em condições climáticas adversas, também, é uma forma de adaptação ao aquecimento global.

No Brasil, o Centro de Pesquisa em Genômica Aplicada às Mudanças Climáticas (*The Genomics for Climate Change Research Center – GCCRC*) - com sede na Universidade Federal de Campinas (Unicamp), e com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) e da Embrapa - representa parte dos esforços da ciência brasileira para gerar ativos biotecnológicos que aumentem a resistência de plantas à seca e ao calor, bem como à transferência de tecnologias ao setor produtivo.

Figura 72- Imagens que retratam uma (a) fazenda vertical, (b) um ambiente cultivado protegido com tela de sombreamento e (c) representação das plantas transgênicas.



a



b



c

Pink Farms: a maior fazenda vertical urbana da América Latina

https://www.youtube.com/watch?v=shBBgKpehuk&ab_channel=PinkFarms

 **Vamos Revisar?**

Bom, vimos ao longo, deste Capítulo, um pouco sobre o impacto que as mudanças climáticas terão nas mais diferentes regiões do mundo. Vimos que, até 2100, a temperatura média global poderá subir até 3°C; que o nível médio do mar pode subir até 1 metro; que o enfraquecimento da corrente de jato vai causar a migração dos cinturões de alta pressão para latitudes mais altas; que eventos extremos se tornarão mais intensos e frequentes; e um agravamento da insegurança alimentar devido à redução da produtividade agrícola. Vimos, ainda, que existem algumas ideias, em andamento, para mitigar o aquecimento global, sendo que o mais viável e barato é a criação de cidades sustentáveis e de uma economia inteligente. No mais, em um inevitável cenário de aquecimento global, existe a possibilidade de adaptação às mudanças, no clima, o que requer investimentos em ciência e tecnologia para criação de soluções.

Referências

GENOMICS FOR CLIMATE CHANGE RESEARCH UNIT-
<https://www.gccrc.unicamp.br/>

GOLDBERG, Daniel N. Ice shelf buttressing. The International Encyclopedia of Geography, John Wiley & Sons, Ltd., 2017. Disponível em https://www.geos.ed.ac.uk/~dgoldber/AAG/ice_shelf_buttressing.pdf

IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, R. K. 2014.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION.
<https://public.wmo.int/en/media/press-release/water-related-hazards-dominate-disasters-past-50-years>. Disponível em <https://public.wmo.int/en/media/press-release/water-related-hazards-dominate-disasters-past-50-years>

10. Perdas por Evaporação no Semiárido

Você já pensou sobre as altas taxas de evaporação que ocorrem nos açudes do Semiárido e por que isso ocorre, gerando um grande problema para quem habita a região? Será que tal situação poderia ser amenizada? Você tem ideia da influência dos oceanos sobre o clima e as chuvas? Como será que as atividades humanas estão contribuindo para alterar o clima? Tudo isso você poderá ver neste Capítulo!

10.1 Evaporação

A evaporação da água de reservatórios artificiais, principalmente os reservatórios a céu aberto, é de grande interesse para a sociedade, pois afeta a confiabilidade do atendimento do abastecimento humano, além da geração de energia, pecuária, agricultura e indústria que dependem de água para seus processos.

A região Nordeste possui cerca de 70.000 reservatórios a céu aberto (SUASSUNA, 2002), quantidade que pode ser justificada pelas características climáticas da região, como o clima semiárido e as precipitações irregulares. Essa irregularidade de chuvas se dá tanto em quantidade, com precipitação anual entre 300 a 800 mm (CRISPIM et al., 2016), como pela má distribuição ao longo do ano, com precipitações concentradas nos primeiros meses do ano. Além disso, alguns fatores como alta evapotranspiração, de cerca de 2000 mm por ano (SUASSUNA, 2002), estimularam a construção de reservatórios artificiais na região, com a finalidade de aumentar a disponibilidade de água e energia nos períodos de escassez e assim atender às demandas.

Os mananciais são reservas hídricas ou fontes utilizadas no abastecimento humano, devendo garantir a quantidade, qualidade e disponibilidade de água, de acordo a finalidade de abastecimento. Segundo o “Manual de Saneamento” da Fundação Nacional de Saneamento - FUNASA (2016), mananciais se dividem em: Mananciais Superficiais: compreendem os córregos, ribeirões, rios, lagos e reservatórios artificiais, como açudes e lagos represados. As águas oceânicas também são uma opção de manancial superficial, pois em várias partes de mundo foram desenvolvidas tecnologias de dessalinização que as tornam próprias para abastecimento. Mananciais Subterrâneos: são aqueles cuja água advém do subsolo, como fontes naturais, poços, aquíferos (lençóis) freáticos e profundos, tendo sua captação feita pelos poços rasos ou profundos, poços escavados ou tubulares, galerias de infiltração, barragens subterrâneas ou pelo aproveitamento de aflorações na superfície, como as fontes de encostas (bicas d’água) e minadouros. O manancial superficial mais comum no nordeste do Brasil é o açude. Açude é o conjunto constituído por barragem ou barramento de um curso d’água e o respectivo reservatório ou lago formado (SEMARH/SE, 2017). A construção de barramentos altera o curso natural dos rios, criando um reservatório

e um espelho d'água. De acordo com Hoestra e Mekonen (2012) essas alterações ocasionadas pelos reservatórios artificiais, aumentam as taxas de evaporação, consumindo uma parcela considerável da água acumulada.

Mas você sabe mesmo o que significa evaporação? Evaporação é o processo físico onde um líquido passa para o estado gasoso, de maneira lenta e gradual, sob pressão constante. “Perda por evaporação é a quantidade de água evaporada por unidade de área horizontal, durante certo intervalo de tempo...” (PINTO et al., 2008). Essa grandeza é medida por altura de água evaporada, de maneira uniforme e distribuída por toda a área planimétrica do reservatório, em milímetros ou metros. A intensidade de evaporação, por sua vez, é a velocidade com que se processam as perdas por evaporação, em mm.dia-1 ou mm.ano-1.

Os principais fatores que influenciam na evaporação são: •Temperatura: a transformação é endotérmica, o que significa que quanto maior for a temperatura, mais rápido o líquido vai evaporar; •Vento: quanto mais ventilação houver sobre o líquido, menos saturado o ar estará e maior será a energia transferida às partículas superficiais, então maior será a evaporação; •Pressão barométrica: quanto maior a pressão, mais difícil é para as moléculas escaparem da fase líquida para a atmosfera e menor é a evaporação; •Umidade do ar: grandes valores de umidade do ar, indicam que há muito vapor d'água, dificultando a evaporação e; •Radiação: fornece energia à substância líquida, acelerando a evaporação. A principal fonte de radiação é o sol, por isso reservatórios artificiais a céu aberto, diretamente em contato com os raios solares, possuem elevados níveis de evaporação. Leão *et al.* (2013) elucidam que a evaporação pode ser estimada por modelos baseados em métodos de transferência de massa, balanço de energia, balanço hídrico, métodos combinados por meio de fórmulas empíricas, como as derivadas da equação de Penman. Outro método de cálculo é a estimativa através de dados levantados por evaporímetros, sendo o mais utilizado no Brasil, o tanque classe A.

Alguns estudos hidrológicos foram dedicados ao problema da evaporação nas represas, sendo estas, geralmente, de grande porte, por ser este fenômeno de grande importância no que diz respeito às perdas que ela acarreta. Esse desperdício torna-se ainda mais acentuado em períodos de seca.

De fato, sabe-se que as condições climáticas provocam taxas anuais de evaporação que alcançam três metros, o que repercute de maneira crucial sobre os açudes de pequeno porte, formadores da grande maioria das aguadas nordestinas.

A essas perdas, somam-se aquelas por infiltração, as quais costuma-se desprezar em açudes de grande porte, por ser a construção dessas represas mais bem cuidada e porque o volume infiltrado é pequeno em relação ao volume armazenado, não chegando a ter sensível repercussão sobre o rebaixamento do nível de água.

Entretanto, observações realizadas em pequenos açudes mostraram que as infiltrações estão longe de serem desprezíveis e podem chegar, em termos quantitativos, a assemelhar-se à evaporação.

Para qualquer projeto de aproveitamento de pequenos açudes, é de fundamental importância saber avaliar essa dupla perda.

Primeiramente, estudou-se o fenômeno da evaporação nas represas, suas variações, bem como suas relações com outros valores de referência. Em segundo lugar, procuraremos avaliar as perdas por infiltração, e melhor compreensão de suas causas, variações e importância, de maneira a poder definir o volume potencial disponível. Tentaremos apresentar alguns resultados obtidos a partir dos dados básicos da rede Hidrometeorológica da SUDENE. I

10.2 As variáveis influentes

O fenômeno da evaporação é muito mais complexo do que se imagina e sua compreensão implica na medição de muitas variáveis, mediante a utilização de equipamentos sofisticados. Os fatores climáticos em jogo são numerosos, sempre interdependentes, e pode-se destacar em particular: a intensidade da radiação solar; a umidade e a temperatura do ar; o vento, bem como fatores secundários como a pressão atmosférica, a salinidade da água etc.

Em segundo lugar, a evaporação depende da natureza da superfície evaporante, principalmente da sua temperatura, do seu albedo e da sua rugosidade com relação à circulação do ar. No caso de uma superfície de água, o fator preponderante é a temperatura da camada superior. O balanço energético e o efeito oásis. A energia necessária ao fenômeno da evaporação tem, basicamente, uma origem dupla: a radiação solar; a advecção, ou energia trazida pelo ar ambiente, que depende da sua umidade relativa e da sua renovação, ou seja, do vento.

Na realidade, o balanço energético é extremamente complexo, pois existem intercâmbios de calor entre o fundo do açude e a água, entre a camada de água e a superfície evaporante, entre essa superfície e a coluna de ar acima. Nesses intercâmbios, entram fenômenos de convecção, extremamente complexos no caso do ar, já que se superpõem fluxos laterais devidos ao vento. Além desses intercâmbios, temos o fornecimento da energia necessária à evaporação e a emissão radiativa oriunda da massa d'água. Em regiões costeiras, o componente Advectivo é geralmente desprezível, sendo a umidade do ar próxima da saturação.

Em regiões áridas, a importância da advecção no balanço energético pode, às vezes, superar a da energia radiativa; desta maneira, a evaporação passa a ser altamente dependente da natureza da área circunvizinha à área estudada.

O efeito oásis resulta da inclusão, em uma área seca (o deserto), de uma área (mais) úmida (oásis, área irrigada) que passa a ser varrida por um ar mais seco e, conseqüentemente, tem a sua evaporação incrementada.

Valores de referência face ao grande número de variáveis influenciando neste fenômeno e aos vários tipos de superfície evaporante, convém restringir a dois valores de referência agrometeorológicos clássicos que são: a evapotranspiração (evaporação do solo e transpiração da cultura) e a evaporação em tanques evaporimétricos padronizados (evaporação de uma superfície de água livre pré-definida).

Um estudo prévio dessas duas variáveis é de grande interesse para qualquer estudo, pois permitem obter informações sobre a variação espacial da evaporação, graças a uma extensa rede de observação; obter informações sobre a variação interanual da evaporação, graças a séries de dados alcançando 25 anos; e avaliar uma dessas variáveis em função das outras, após evidenciar as suas diferenças e definir coeficientes de passagem.

10.3 A evaporação de tanque (Tanque Classe A)

Existem vários tipos de tanques padronizados suscetíveis de medir a evaporação de uma superfície de água restrita. Entre eles, o tanque classe A. Ele é um tanque cilíndrico em ferro galvanizado, de superfície 1.50 m² e profundidade 25,5 cm e deve ser colocado a 15 cm acima do solo.

Esse tanque apresenta a inconveniência de ser inteiramente exposto ao vento e, desse modo, ser mais sensível às variações de temperatura. Armazenando calor durante o dia, ele produz uma evaporação noturna. Uma medição obtida com esse tanque deve ser acompanhada da descrição da área circunvizinha que passa a ter grande influência e corrigida por um coeficiente de tanque K_p . Esse coeficiente pode ser obtido por alguns métodos, entre eles Snyder (1992), pela equação $K_p = 0,482 + 0,024 \ln(F) - 0,000376 U + 0,0045 UR$, onde: F é a distância (tamanho) da área de bordadura (m); U é a velocidade do vento (km/dia); e UR é a umidade relativa (%) média do dia.

10.4 Tanque evaporimétrico padrão

O Tanque de 20 m² de área e 2 m de profundidade, o qual foi recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), como Padrão, em 1996, é um tanque enterrado, menos sujeito a intercâmbios energéticos, mas de manejo e manutenção mais delicados, além de operar com um grande volume de água, o que representa uma situação complicada em uma região com pouca disponibilidade de água como o Semiárido. Na prática, encontra-se com maior frequência o Tanque classe A, que, no caso particular do Nordeste, está sendo utilizado nas estações climatológicas.

Referências

BRAGA, Marcos Brandão; CALGARO, Marcelo MOURA, Magna; SILVA, Thieres George. Coeficientes do tanque classe “A” para estimativa da evapotranspiração de referência na região do Vale do Submédio São Francisco, estado da Bahia. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.16, n.1, p.49-57, abril/2008. Disponível em <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA-2009-09/40427/1/OPB2285.pdf>

MOLLE, François. Perdas por Evaporação e Infiltração em Pequenos Açudes. Série Brasil, SUDENE Hidrologia, 25 - 1989. Disponível em https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/b_fdi_03_01/33854.pdf

OLIVEIRA, Rodrigo Rudson Venâncio de Melo. Perda de água por evaporação em um pequeno reservatório do semiárido. 2017. 15 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. Disponível em <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/40432>

11. Efeitos da Atividade Vulcânica e das Correntes Marinhas no Clima

11.1 Como as erupções vulcânicas influenciam o clima terrestre?

Os vulcões quando entram em atividade jogam grandes quantidades de detritos e cinzas na atmosfera. Será que isso pode impactar o clima da Terra?

Ao entrarem em atividade os vulcões liberam gases e partículas capazes de alterar o clima local e global. Portanto, os vulcões podem alterar o tempo e o clima, tanto a nível local como global. Nas grandes erupções vulcânicas são lançadas grandes quantidades de gases na atmosfera: aerossóis que ficam em suspensão na atmosfera; e cinzas, que podem gerar aumento ou diminuição de temperatura na atmosfera. Durante as erupções vulcânicas os principais elementos expelidos na atmosfera são: partículas de poeira e cinzas, e gases de efeito estufa: vapor de água, dióxido de enxofre (SO_2) e dióxido de carbônico (CO_2).

O impacto mais significativo das erupções vulcânicas é observado na camada da estratosfera, a qual está situada entre 11 e 50 km acima da superfície. Ao chegar na estratosfera, o SO_2 se converte em ácido sulfúrico e se condensa rapidamente formando aerossóis de sulfato. A presença desses aerossóis na referida camada atua proporcionando aumento da reflexão da radiação solar e, com isso, uma parte da radiação solar que chegaria à superfície da Terra é refletida para o espaço. Diante disso, ocorre um resfriamento da camada inferior da atmosfera, a troposfera.

Figura 73 – erupção vulcânica no mar



A lava em contato com o oceano forma uma nuvem tóxica, composta por SO₂ e outros elementos.

Estudos mostram que algumas erupções que ocorreram no século passado causaram uma significativa diminuição da temperatura da Terra, por períodos que variaram de um a três anos. Uma das erupções que merece destaque foi a do Monte Pinatubo, que ocorreu em junho de 1991, a qual injetou cerca de 20 milhões de toneladas de SO₂ na estratosfera, e chegou a mais de 32 km de altitude. Isso causou um intenso resfriamento global que perdurou por cerca de três anos.

Entretanto, nem toda erupção vulcânica é capaz de gerar um impacto global. Para que uma erupção vulcânica possa gerar impacto no clima global, precisa ser muito intensa, injetar uma grande quantidade de material na atmosfera, uma quantidade significativa de gases e de partículas na estratosfera, principalmente do gás “dióxido de enxofre”.

No caso de pequenas erupções ocorre, de qualquer forma, alguns impactos locais. Durante uma erupção vulcânica, em função da formação de nuvens de cinzas e da quantidade de vapor d’água liberado na atmosfera, um dos principais efeitos resultantes é a ocorrência de chuvas com raios e trovões. A presença de uma intensa pluma de cinzas e aerossóis na atmosfera também causa um resfriamento da temperatura local, tendo em vista que os raios solares são bloqueados e não chegam à superfície. A concentração de SO₂ próximo à superfície, além de gerar poluição do ar, contribui para ocorrências de chuvas ácidas.

11.1.1 A erupção do Kilauea

A erupção do vulcão Kilauea no Havaí, ocorrida em maio de 2018, apesar da grande quantidade de cinzas e lava expelida, não causou impacto no clima global. Apesar de ter liberado uma grande quantidade de SO₂, a nuvem de cinzas da erupção do Kilauea não atingiu altitudes superiores a 10 km, logo não chegou à estratosfera.

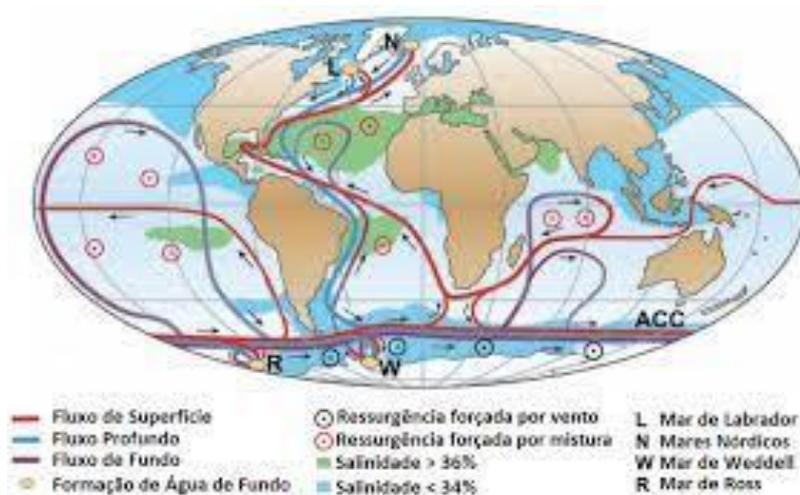
O principal impacto da erupção do Kilauea é no clima local, devido à grande quantidade de SO₂ que ele expele, o que é prejudicial à saúde da população local. O fluxo de lava do Kilauea em contato com o oceano forma imensas nuvens tóxicas contendo SO₂, pedaços de vidro e ácido clorídrico. Entretanto, devido à ação dos ventos e da chuva, a concentração desses gases tende a diminuir ao longo dos dias seguintes. É importante mencionar que, no Havaí, ocorre atividade vulcânica continuamente.

11.3 Correntes marítimas

11.3.1 Circulação Termoalina

Circulação termoalina refere-se ao movimento das águas por todos os oceanos de nosso planeta, sendo esta movimentação de massas de água responsável pelo aquecimento e resfriamento de certas regiões. A **Circulação termoalina** tem como principal gerador a diferença de densidade entre as correntes marítimas, sendo gerada pela quantidade de sal e pela temperatura da água nos oceanos.

Figura 74 -circulação termoalina



11.3.2 Entenda como as correntes marítimas influenciam o clima

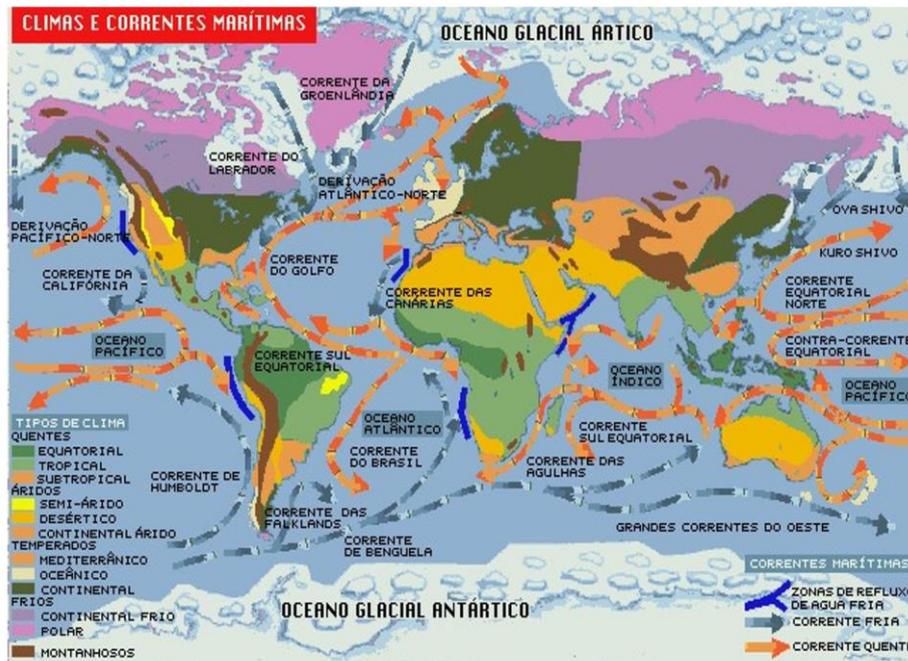
Na sociedade ocidental, atual, há um distanciamento entre as ações humanas e as forças da natureza. Como se o mercado e os fatores econômicos fossem uma dinâmica, à parte, que não se relaciona com os fenômenos naturais. No entanto, é irreal pensar que as rotinas de pessoas e empresas não sejam influenciadas por acontecimentos como as correntes marítimas. Elas são um exemplo de fenômeno que tem impacto no clima, das cidades, dos estados e até dos países, com consequências diretas sobre atividades econômicas como a pesca e os agronegócios.

11.3.3 O que são correntes marítimas?

As correntes são massas de água que se deslocam em diferentes direções, cruzando oceanos e mares por todo o planeta. Elas são formadas pelos ventos na superfície terrestre e sofrem influência da própria rotação da Terra, que faz com que essas águas se movimentem em direção contrária — no hemisfério norte, em sentido horário e, no

hemisfério sul, no anti-horário. Essas massas de água têm características próprias, como temperatura, cor e salinidade, que se mantêm inalteradas conforme elas viajam pelos oceanos e mares. Ou seja, as correntes marinhas não se misturam com as águas dos locais por onde passam. Por conta dessas peculiaridades, as correntes acabam influenciando todo o ecossistema dos ambientes que percorrem, interferindo na vida marinha, no equilíbrio dos oceanos e mares e no clima.

Figura 75 -:Climas e correntes marítimas



11.3.4 Como as correntes marítimas influenciam no clima?

As correntes marítimas carregam consigo umidade e calor, interferindo no clima das regiões por onde transitam. Veja, a seguir, alguns fatores que são afetados por essas massas.

11.3.5 Distribuição das temperaturas

As partículas de água transportadas pelas correntes marinhas promovem uma distribuição de temperaturas ao longo dos lugares por onde passam. Isso impede, por exemplo, que locais sob uma maior radiação solar fiquem continuamente mais quentes, enquanto os polos são sempre mais frios.

11.3.6 Formação de desertos

Correntes frias e secas, como a de Humboldt, exercem um papel importante na formação dos desertos. Por apresentarem temperaturas baixas, elas não geram muita evaporação de água. Dessa forma, os ventos que se deslocam junto com elas têm uma menor *umidade*

relativa do ar. Isso faz com que todo o ambiente ao redor da corrente fique mais seco, atraindo o ar úmido que passa por lá. O resultado é uma baixa umidade nas localidades litorâneas próximas. Conjuntamente a outros fatores atmosféricos, essa sequeidão forma, por exemplo, o Deserto do Atacama, no norte do Chile.

11.3.7 Formação de nevoeiros

Quando uma corrente fria se desloca para uma região de temperatura mais quente, o ar que se encontra sobre ela se resfria e se condensa, formando, assim, os nevoeiros de ar marítimo. A maioria das correntes frias se encontra em áreas costeiras. Por isso, a maior parte desses nevoeiros ocorre em zonas próximas aos continentes.

11.3.8 Contorno dos litorais

Além das temperaturas e da umidade que carregam, as correntes marítimas têm várias outras características: velocidade de deslocamento, profundidade por onde circulam e as suas direções — o que as distinguem uma das outras. Algumas correntes têm uma trajetória que vai do fundo dos mares e oceanos em direção à superfície. Isso faz com que elas carreguem sedimentos que se depositam na costa. Esse movimento molda os contornos dos litorais por onde passam.

11.3.9 Deslocamento de icebergs

Os *icebergs* são blocos gigantescos de gelo, que têm a maior parte da sua massa submersa e uma pequena ponta que emerge sobre a superfície dos oceanos. Algumas correntes marítimas de grande densidade e volume são capazes de deslocar esses blocos de gelo e, quando isso acontece, o próprio *iceberg* pode interferir nas características da corrente, afetando o clima na região e, potencialmente, de todo o planeta

11.3.10 Principais correntes marítimas da Terra

Algumas dessas massas de água já foram mapeadas pela oceanografia, e suas influências sobre o clima das diversas regiões já foram descritas. Veja, a seguir, as principais correntes marinhas e de que forma elas impactam o clima na superfície terrestre.

11.3.11 Corrente do Golfo

Essa corrente se movimenta no sentido sul-norte pela costa dos Estados Unidos e pela Europa, se deslocando em alta velocidade e com temperaturas altas. Ela é gerada pelos ventos no Golfo do México e mantida pela sua própria circulação. Em seu trajeto, a corrente do Golfo passa pela América do Norte e chega até a parte ocidental da Europa. Nos locais

por onde passam essas águas elevam a temperatura. Quando percorre a Inglaterra, a evaporação e a condensação das águas do Mar do Norte causam a famosa névoa invernal de Londres. Ao chegar na Noruega e encontrar massas de água muito mais frias e menos salgadas, ela se desloca na direção do Equador, pelas profundezas do oceano.

11.3.12 Corrente de Humboldt

Trata-se de uma corrente de superfície de águas frias — aliás, as mais frias do mundo — que passa pelo Oceano Pacífico. Sua origem está nas regiões próximas à Antártica, de onde segue para as costas do Peru e do Chile. Essa corrente é muito rica em vida animal — carregando tanto zooplâncton como peixes — e vegetal, além de estar relacionada à ocorrência do fenômeno El Niño.

11.3.13 Corrente do Brasil

O Brasil também tem as suas correntes, que determinam o clima por aqui. A corrente marítima Sul Equatorial é uma massa de águas quentes e que se origina na região equatorial do globo terrestre. Essas águas se subdividem em duas: a corrente das Guianas, que segue para o norte da América do Sul, e a corrente do Brasil, que vem na direção do nosso país e percorre a zona costeira no sentido norte-sul.

É justamente essa nova massa de água, ainda quente, que aquece o litoral do Nordeste, favorecendo também a procriação das espécies marinhas da região.

11.3.14 Corrente de Labrador

A Corrente de Labrador tem origem na região polar. No mar da Groenlândia, forma-se uma massa de águas frias que segue para o sul da ilha, até o Mar de Labrador. Ela continua descendo rumo ao sul, passando pela costa leste do Canadá, até se fundir com a corrente da Flórida, já no território dos Estados Unidos. A massa fria provoca o resfriamento nas *temperaturas* da região — é por causa da corrente de Labrador que acontece o congelamento das águas do litoral de Nova York e do estado do Maine.

11.3.15 Corrente de Bengala

A Corrente de Benguela se forma na parte oeste do Oceano Atlântico Sul — portanto, próximo da costa oeste da África do Sul. De lá, ela viaja rumo ao norte, até a direção aproximada da província de Benguela, em Angola. Essa corrente está relacionada à formação do deserto do Kalahari, que abrange boa parte dos territórios da Namíbia, África do Sul e Botswana. Suas águas frias levam vapor de água da África do Sul para dentro do

continente. Contudo, a condensação desse vapor faz com que o ar chegue seco ao continente, formando o grande deserto.

Apesar de serem as principais, essas correntes não são as únicas. As águas salgadas do globo terrestre são entrecortadas por uma enorme variedade de massas que se deslocam em zonas diferentes, interferindo no clima daquela região. As massas de água que se formam em zonas equatoriais — como a formada no Brasil e a corrente do México — são correntes quentes. Já aquelas que se originam em zonas polares, como a de Humboldt, de Bengala e a Circumpolar Antártica, são as correntes frias.

11.3.16 Como aplicar esse conhecimento?

Por mais que as vertentes anticientíficas que pregam a inexistência do aquecimento global tenham ganhado mais voz nos últimos anos, as mudanças climáticas provocadas pelas atividades humanas nas últimas décadas é real. Entender essas mudanças e as dinâmicas causadas por elas é fundamental para conseguir planejar os negócios e evitar prejuízos.

O gestor que compreende o papel das correntes marítimas consegue, por exemplo, traçar um plano estratégico para cenários que envolvam fenômenos naturais como o *El Niño* ou *La Niña*. Saber da ocorrência desses acontecimentos pode fazer toda a diferença na *agricultura* e na pesca. Em outra perspectiva, se o seu negócio faz exportações ou importações, conhecer a influência das correntes na formação dos nevoeiros e no deslocamento de *icebergs* pode ajudar no planejamento da logística das cargas. Essas movimentações também afetam o ecossistema marinho, tendo consequências no setor da pesca.

As análises sobre as dinâmicas das correntes marítimas servem, acima de tudo, para que o gestor saiba traçar planos de contingência para seu negócio de acordo com os cenários que podem se formar graças aos deslocamentos naturais de massas de água. Esses dados, muitas vezes, mostram-se fundamentais para evitar prejuízos e otimizar os recursos.

 **Saiba Mais**

Circulação Termoalina

<https://www.ecycle.com.br/7143-circulacao-termoalina.html>

Correntes oceânicas -

<https://marsemfim.com.br/correntes-oceanicas-aceleram-culpa-do-aquecimento/>

Visualizando correntes marítimas

<https://www.updateordie.com/2020/08/17/animacao-de-correntes-maritimas/>

Referências

O TEMPO. Como as erupções vulcânicas influenciam o clima terrestre? Publicado em 29/05/2018. Disponível em <https://www.tempo.com/noticias/ciencia/como-as-erupcoes-vulcanicas-influenciam-o-clima-terrestre-.html>

12. Efeito Estufa Natural e Antrópico

Prof. Dr. Mário Miranda Vilas Boas Ramos Leitão

O efeito estufa é um processo natural e fundamental para a sobrevivência de diversas formas de vida na Terra, sendo responsável por reter o calor do sol. Graças a este fenômeno, a temperatura do planeta se mantém em uma média considerada ideal para o equilíbrio dos ecossistemas e sobrevivência das espécies. A ação humana, entretanto, tem afetado o funcionamento do efeito estufa, elevando a temperatura além do necessário.

12.1 Como ocorre o efeito estufa natural?

Ao serem emitidos à Terra, os raios solares têm dois destinos: parte é absorvido pelo planeta e transformado em calor, enquanto o restante é refletido de volta para o espaço na forma de radiação infravermelha. Isso acontece graças à presença de uma camada de gases que agem como isolante e formam uma espécie de cobertor em torno do planeta, refletindo os raios solares e impedindo que o calor absorvido escape.

12.2 Efeito estufa antrópico

O efeito estufa antrópico é o agravamento do efeito estufa natural e ocorre quando boa parte dos raios solares são retidos e absorvidos, na Terra, - devido à ação antrópica (do homem) - dióxido de carbono (CO₂), liberando gás metano (CH₄), Óxido nitroso (N₂O) e CFC (clorofluorcarbono) ou outros gases tóxicos. O efeito estufa é um processo natural que garante a manutenção da temperatura terrestre em uma média considerada ideal para a sobrevivência das diversas formas de vida.

12.3. Consequências do efeito estufa

Como já foi dito, o efeito estufa natural é fundamental para manter o planeta aquecido. Porém, com a ação humana intensificando o fenômeno, a temperatura da Terra acaba se elevando além do necessário, causando alterações nos níveis de chuva, derretimento das calotas polares e diversos prejuízos à saúde das pessoas e dos animais.

A médio e longo prazos, pode acontecer de algumas cidades litorâneas desaparecerem por completo. Além disso, com a elevação da temperatura, a tendência é que aumente a ocorrência de tufões, furacões e diversos outros desastres naturais. Estima-se que variadas espécies de plantas e animais devam entrar em processo de extinção por conta dessas consequências.

12.4. A ação humana e o efeito estufa

A queima de combustíveis fósseis é um dos principais responsáveis pela emissão de gases causadores do efeito estufa. A criação de gado também contribui significativamente para a emissão desses gases, sendo que muitas pesquisas apontam esta como a maior causa do efeito estufa em todo o mundo.

Para proteger o planeta e reduzir os problemas causados pelo efeito estufa, portanto, é necessário reduzir a emissão de gases poluentes e preservar a vegetação existente. Isso exige medidas que priorizem a utilização de *fontes de energia limpa*, além de redução na quantidade de carros circulando e outras medidas emergenciais e sustentáveis. Mas como funciona o efeito estufa?

Figura 76 -Funcionamento do efeito estufa



O Sol emite radiação para a Terra. Parte dessa radiação é absorvida pela superfície terrestre e pelos oceanos, outra parte é refletida ao espaço. Contudo, uma parcela da radiação solar emitida pela superfície fica retida na atmosfera em decorrência da presença de *gases de efeito estufa*, impedindo que esse calor seja devolvido totalmente para o espaço. Dessa forma, o equilíbrio energético é mantido, evitando grandes variações de temperatura.

Para exemplificar melhor, imagine um carro estacionado em um dia bastante ensolarado. Os raios solares atravessam os vidros e aquecem o interior do veículo. O calor tende a ser devolvido para fora do carro, saindo pelo vidro, contudo encontra dificuldades. Assim, parte do calor fica retido no interior do carro, mantendo-o aquecido.

Fazendo uma analogia, os gases de efeito estufa presentes na atmosfera funcionam como o vidro do carro, permitindo a entrada da radiação solar e dificultando que toda ela seja devolvida ao espaço.

12.5 Gases de efeito estufa

Além do vapor d'água, existem quatro principais gases de efeito estufa, além do vapor d'água:

Dióxido de carbono	Depois do vapor de água o CO ₂ é o gás de maior abundância na atmosfera. A queima de combustíveis fósseis é uma das principais atividades responsáveis por emitir esse gás para a atmosfera. Desde a era industrial, a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera aumentou, aproximadamente 35%.
Gás metano	É o segundo gás que mais contribui para o aumento das temperaturas globais, com poder 21 vezes maior que o dióxido de carbono. Aproximadamente 60% da emissão de metano provém de ações humanas ligadas a aterros sanitários e lixões. Além disso, é eliminado por meio da digestão de ruminantes.
Óxido nitroso	Pode ser emitido à atmosfera por meio de bactérias no solo ou no oceano. Atividades agrícolas, como uso de fertilizantes nitrogenados, também são fontes desse gás. O óxido nitroso pode colaborar cerca de 298 vezes mais que o dióxido de carbono para o aumento das temperaturas.
Gases fluoretados	Os gases fluoretados são produzidos pelo homem a fim de atender às necessidades industriais. São exemplos desses gases: hidrofluorcarbonetos, usados em sistemas de aquecimento e refrigeração; hexafluoreto de enxofre, usado na indústria eletrônica; perfluorcarbono, emitido na produção de alumínio; e os clorofluorcarbonos (CFCs), responsáveis pela destruição da camada de ozônio.
Vapor d'água	Bastante presente na atmosfera, é responsável por mais da metade do efeito estufa. O vapor d'água absorve o calor irradiado pela superfície terrestre, distribuindo-o para todas as direções e parte volta e aquece a camada de ar próxima da superfície.

12.6 Causas do efeito estufa

Nas últimas décadas, houve um aumento considerável da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera terrestre, intensificando o efeito estufa.

A alta concentração desses gases está relacionada, principalmente, às atividades industriais, realizadas, muitas vezes, por meio da queima de combustíveis fósseis. Além

disso, o crescimento da produção agrícola, do *desmatamento* e do uso dos transportes também são responsáveis pela intensificação da emissão de gases.

12.7 Efeito estufa e aquecimento global

O aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera tem provocado mudanças irreversíveis na dinâmica climática do planeta. De acordo com dados do Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas, a temperatura da Terra aumentou cerca de 0,85°C nos continentes e 0,55°C nos oceanos em um período de cem anos.

Quanto mais gases de efeito estufa são emitidos à atmosfera, mais o calor irradiado encontra dificuldades para dispersar-se para o espaço, provocando o aumento anormal das temperaturas e reafirmando a teoria do aquecimento global.



Saiba Mais

DIPOLO DE TSM

Você já ouviu falar em **DIPOLO DE TSM**? Esse é um fenômeno muito importante para a ocorrência ou inibição das chuvas no Semiárido nordestino. Ele representa as condições favoráveis ou não à ocorrência de chuvas no Nordeste. Nos anos em que as temperaturas das águas superficiais abaixo do Equador no oceano Atlântico estão acima da média e acima do Equador estão abaixo da média, geralmente ocorrem boas chuvas no Semiárido, mesmo que esteja ocorrendo o fenômeno El Niño fraco e até moderado em algumas vezes. Por outro lado, a situação inversa, frio ao Sul do Equador e quente ao Norte, isso gera redução das chuvas no Semiárido. Portanto, lembre-se que um dos principais indicadores da qualidade de chuvas no Semiárido é o **DIPOLO DE TSM** que ocorre no oceano Atlântico.

Saiba Mais

Durante as festas juninas nós contribuimos para o efeito estufa?

Pois é! Embora poucas pessoas percebam, durante os festejos juninos, no Semiárido, a queima de madeira, nas fogueiras, em grande escala, gera um enorme lançamento de gases e partículas que contribuem para alterar o efeito estufa natural. Portanto, essa ação tradicional, para homenagear São Antônio, São João e Pedro, tem esse lado complicado para o meio ambiente. Contudo, isso poderia ser significativamente mitigado ou eliminado - o que seria muito difícil, na prática – se, em vez de grandes fogueiras, tivéssemos pequenas fogueiras. Que tal você fazer a sua parte?

Saiba Mais

Vídeos

DESCOMPLICA. O efeito estufa é ruim pro planeta? Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=EZgSUdfMJ6c>

DESCOMPLICA. O que é o efeito estufa? - Meio ambiente para crianças. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=m96U0edcRmk>

Vamos revisar?

Nesses capítulos, nós estudamos as relações do clima e das profundidades dos açudes com as elevadas perdas de água por evaporação na região Semiárida. Vimos a importância das correntes marinhas, no clima e na ocorrência ou inibição de chuvas em várias partes, do globo, e estudamos como os fenômenos El Niño e La Niña atuam em relação as chuvas no Nordeste. Também, vimos que as fogueiras, durante as festas juninas, no Nordeste, geram grande lançamento de material poluidor, na atmosfera, contribuindo para o efeito estufa.

Referências

BRASIL ESCOLA. Efeito estufa, Disponível em <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/efeito-estufa.htm>



PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO
TECNOLOGIAS AGRÍCOLAS
DE BAIXO CARBONO
PRS CAATINGA

O Programa de Capacitação em Tecnologias Agrícolas de Baixo Carbono é uma iniciativa da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS) em parceria com a Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf). Criado no âmbito do Projeto Rural Sustentável Caatinga, seu objetivo é promover conhecimento sobre conceitos e práticas de tecnologias agrícolas de baixa emissão de carbono, levando em conta as características e peculiaridades da região semiárida.

Através do curso de especialização lato sensu “Tecnologias de Baixa Emissão de Carbono: Fortalecendo a Convivência com o Semiárido”, o Programa investe na qualificação de assistentes técnicos e extensionistas que atuam junto a cooperativas e associações de produtores rurais para fomentar a adoção de práticas e tecnologias orientadas para a agricultura de baixo carbono. Entre seus discentes também estão indivíduos com perfis diversos como agricultores familiares, lideranças locais, associados de organizações produtivas, funcionários públicos, agentes de crédito, entre outros.

O PRS Caatinga é resultado de um acordo de cooperação internacional firmado entre os governos do Reino Unido e do Brasil com recursos do Financiamento Internacional para o Clima, administrados pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e tendo o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) como beneficiário institucional.

ELABORAÇÃO



PARCEIRO EXECUTOR



EXECUÇÃO



REALIZAÇÃO



www.priscaatinga.org.br