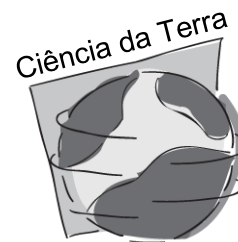


# Introdução

## Por que Estudar a Ciência do Sistema Terrestre?



A percepção da Terra como um sistema começa quando sentimos o calor do sol ou nos molhamos em pé na chuva. A Compreensão da Terra como um Sistema - Ciência do Sistema Terrestre - requer uma exploração quantitativa das conexões entre todas as partes (atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera) do sistema. As medições do Programa GLOBE fornecem aos alunos os meios para iniciar essa exploração por si mesmos.

Os processos que compõem o ambiente global estão interconectados. Muitas das principais questões ambientais de nosso tempo levaram os cientistas a estudar como essas conexões operam em uma base global - a compreender a Terra como um sistema.

Os estudos da camada estratosférica de ozônio envolvem perguntas sobre os processos que criam e destroem o ozônio. Cientistas descobriram que o ozônio, um produto químico encontrado principalmente em uma camada centrada cerca de 25 km acima da superfície da Terra, está conectado à atividade biológica que ocorre no solo na superfície da Terra. Diferentes produtos químicos, presentes no ar em pequenas quantidades, controlam a abundância de ozônio na atmosfera. As fontes desses constituintes vestigiais incluem microrganismos no solo e na água, plantas terrestres e até alguns animais, além da atividade humana.

Os cientistas que estudam as mudanças climáticas também estão interessados nas conexões entre os diferentes processos da Terra. Alguns dos gases vestigiais na atmosfera dificultam a fuga do calor (radiação infravermelha) da superfície da Terra para o espaço. As quantidades desses gases de efeito estufa encontradas na atmosfera estão ligadas aos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo, na água e na terra. Eles também são influenciados pela circulação dos oceanos e da atmosfera. Para prever o curso futuro do clima, precisamos entender esse tecido detalhado de conexões.

Ecologistas estudam a maneira pela qual os componentes vivos e não vivos de um ecossistema interagem. Organismos e espécies individuais competem e cooperam entre si. Em

alguns casos, a interdependência é tão forte que plantas e animais diferentes não podem se reproduzir ou mesmo existir um sem o outro.

Existe uma rede de vida com extensa reciclagem de nutrientes, e cada organismo desempenha um papel. Se um componente do ecossistema for alterado, os efeitos se propagam pelo sistema.

Cientistas ainda não conhecem todas as conexões do sistema Terra, mas continuam trabalhando para obter uma compreensão mais completa. Alunos do GLOBE podem ajudar na coleta de dados e na pesquisa dos alunos. Alunos e cientistas do GLOBE trabalhando juntos melhorarão nossa compreensão do sistema Terrestre. Como os alunos realizam uma ampla variedade de medições GLOBE (talvez espalhadas por vários anos escolares em várias séries), eles devem ter uma percepção de que o ambiente é o resultado de uma interação entre muitos processos que ocorrem local, regional e globalmente no prazo escalas que variam de segundos a séculos. Esta é uma lição importante do GLOBE. As atividades de aprendizagem deste capítulo ajudam os alunos a aprender isso enquanto estudam variações anuais nos parâmetros ambientais (a seção Estações) e examinam as conexões entre os vários fenômenos medidos no GLOBE em escalas espaciais locais, regionais e globais (a seção Explorando as Conexões)

### A Visão Geral

O planeta que chamamos Terra é composto de cinco "esferas": a atmosfera, hidrosfera, litosfera, criosfera e biosfera, conectadas entre si em uma complexa rede de processos. Ver Figura EA-I-1. A atmosfera consiste em gases e partículas suspensas no ar. Os oceanos, massas de águas interiores, lençóis freáticos e folhas de gelo (criosfera) compõem a hidrosfera. A litosfera refere-se à terra sólida; as camadas do núcleo, cobertura, crosta e solo (pedosfera). Os lugares na Terra onde os organismos vivem são conhecidos coletivamente como a biosfera. Em vez de focar nas partes individuais da Terra, os cientistas do sistema terrestre usam química, biologia e física para estudar os ciclos que conectam essas esferas entre si e com a energia



do sol, o que acaba por impulsionar quase todos esses processos.

Os principais ciclos que conectam as diferentes partes da Terra são o ciclo de energia (ver Figura EA-I-2), o ciclo da água (ciclo hidrológico, ver Figura EA-I-3) e os ciclos de importantes elementos individuais (por exemplo, carbono, nitrogênio, ver Figura EA-I-4). Cada ciclo é composto de reservatórios, locais onde energia, água e elementos são armazenados por um período de tempo (por exemplo, energia química, gelo Marítimo, oceanos, dióxido de carbono), fluxos, o movimento de energia e matéria de um reservatório para outro (por exemplo, radiação, precipitação, transpiração, correntes oceânicas, vento, fluxo do rio) e processos que alteram a forma de energia, água e elementos (por exemplo, fotossíntese, condensação, fogo). Todas as medições do GLOBE são projetadas para ajudar os cientistas do Sistema Terrestre em seu objetivo de determinar os tamanhos dos reservatórios da Terra e a taxa de fluxos de entrada e saída desses reservatórios.

A energia do sol flui através do meio ambiente, aquecendo a atmosfera, os oceanos e a superfície terrestre e alimentando a maior parte da biosfera. Ver Figura EA-I-2. As diferenças na quantidade de energia absorvida em diferentes locais colocam a atmosfera e os oceanos em movimento e ajudam a determinar sua temperatura geral e estrutura química. Esses movimentos, como padrões de vento e correntes oceânicas, redistribuem energia por todo o meio ambiente. Eventualmente, a energia que começou como luz do sol (radiação de ondas curtas) deixa o planeta como brilho da Terra (luz refletida pela atmosfera e superfície de volta ao espaço) e radiação infravermelha (calor, também chamada radiação de ondas longas) emitida por todas as partes do planeta que atinge o topo da atmosfera. Esse fluxo de energia do sol, do meio ambiente e de volta ao espaço é uma conexão importante no sistema terrestre; define o clima da Terra.

Água e elementos químicos são transportados pelo ambiente. A água derrete, evapora, condensa e congela, e é movida de um lugar para outro na atmosfera, nos oceanos, na superfície da terra e no solo e nas rochas. Ver Figura EA-I-3. Cada um dos elementos químicos sofre reações químicas, mas a quantidade total de cada um na Terra permanece essencialmente fixa. Dessa maneira, o ambiente consiste em um

conjunto de ciclos de água, carbono, nitrogênio, fósforo, etc. Como os ciclos dos elementos envolvem vida, produtos químicos e a Terra sólida, eles são conhecidos coletivamente como ciclos biogeoquímicos. A Figura EA-I-4 mostra um deles, o ciclo do carbono.

### **Componentes do Sistema Terrestre**

O Programa GLOBE faz com que os alunos meçam muitas partes dos Sistemas Terrestres. Essas medições são apresentadas em quatro investigações: Atmosfera, Biosfera, Hidrosfera e Solo (Pedosfera).

Grande parte da criosfera é inacessível para alunos e cientistas cidadãos, mas as medições de precipitação sólida na Investigação sobre Atmosfera, observações de quando os corpos d'água são congelados na Investigação sobre Hidrosfera e a migração de aves árticas na Investigação sobre Biosfera se relacionam à criosfera. O GLOBE não investiga a geologia, portanto o solo é o foco na litosfera.

### **Ciclos do Sistema Terrestre**

No ambiente, a energia pode estar na forma de radiação (radiação solar ou de ondas curtas e radiação infravermelha ou de ondas longas), calor sensível (energia térmica), calor latente (calor liberado quando a água passa do gás para o líquido) ou estado sólido), energia cinética (energia do movimento, incluindo ventos, marés e correntes oceânicas), energia potencial (energia armazenada) e energia química (energia absorvida ou liberada durante reações químicas). Os cientistas querem conhecer, modelar e prever a quantidade de energia em todas as suas formas em cada componente do sistema Terrestre, como é trocada entre os componentes e como é movida de um lugar para outro dentro de cada um dos componentes.

O ciclo de energia está entrelaçado com o ciclo hidrológico. Parte da energia da luz solar que atinge a superfície da Terra causa evaporação das águas superficiais e do solo. A atmosfera transporta o vapor de água resultante até que ele se condense nas nuvens, liberando a energia latente que evaporou a água. Gotas de água e partículas de gelo nas nuvens aumentam de tamanho até formarem precipitação, caindo na superfície como chuva, neve, granizo ou granizo. Uma vez que a precipitação cai, a água pode permanecer congelada na superfície para derreter posteriormente, evaporar novamente na atmosfera,



Figura EA-I-1: Diagrama Esquemático do Sistema Terrestre desde o Centro da Terra até a Atmosfera

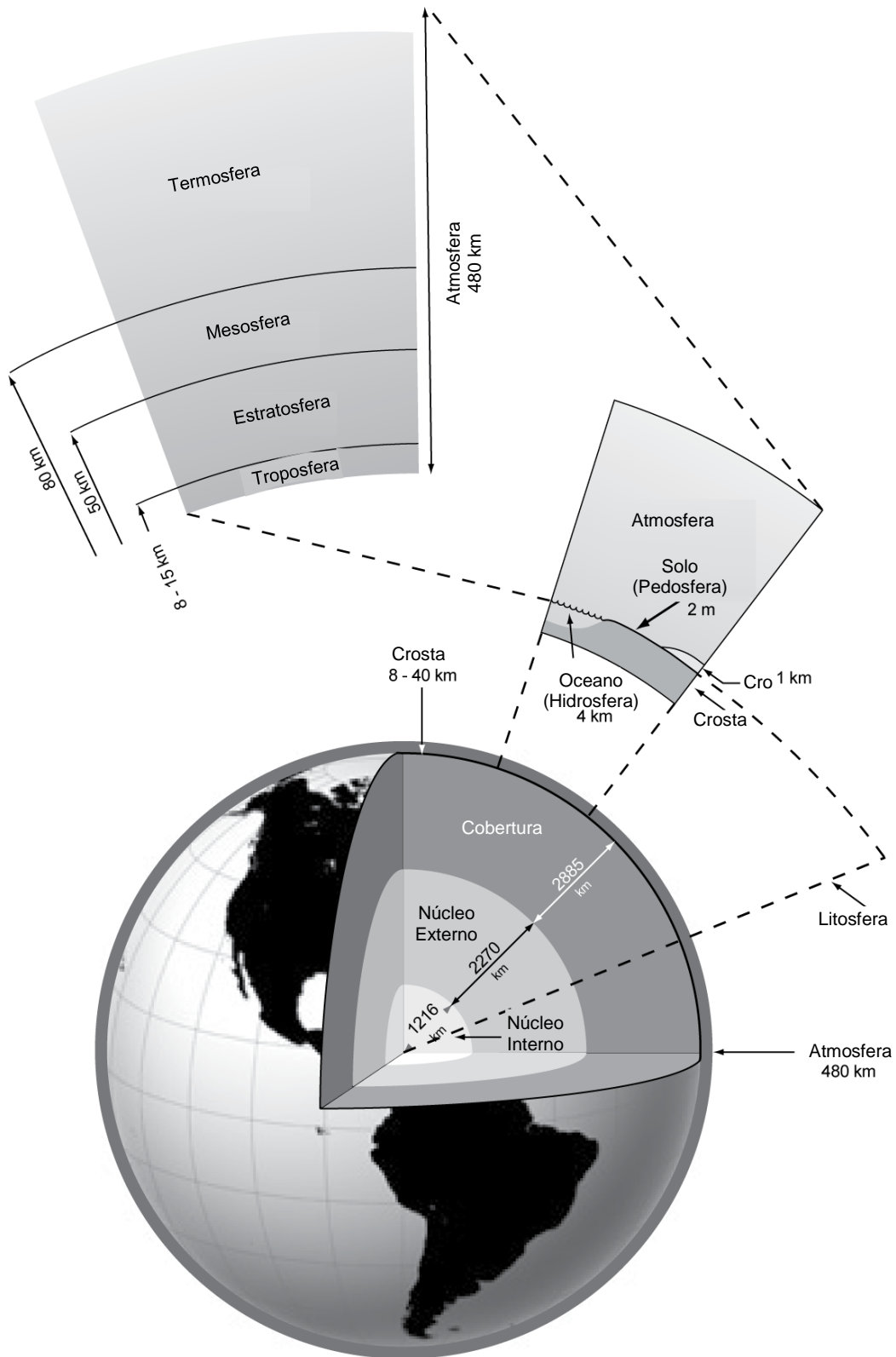


Figura EA-I-2: Diagrama Esquemático do Orçamento da Energia da Terra

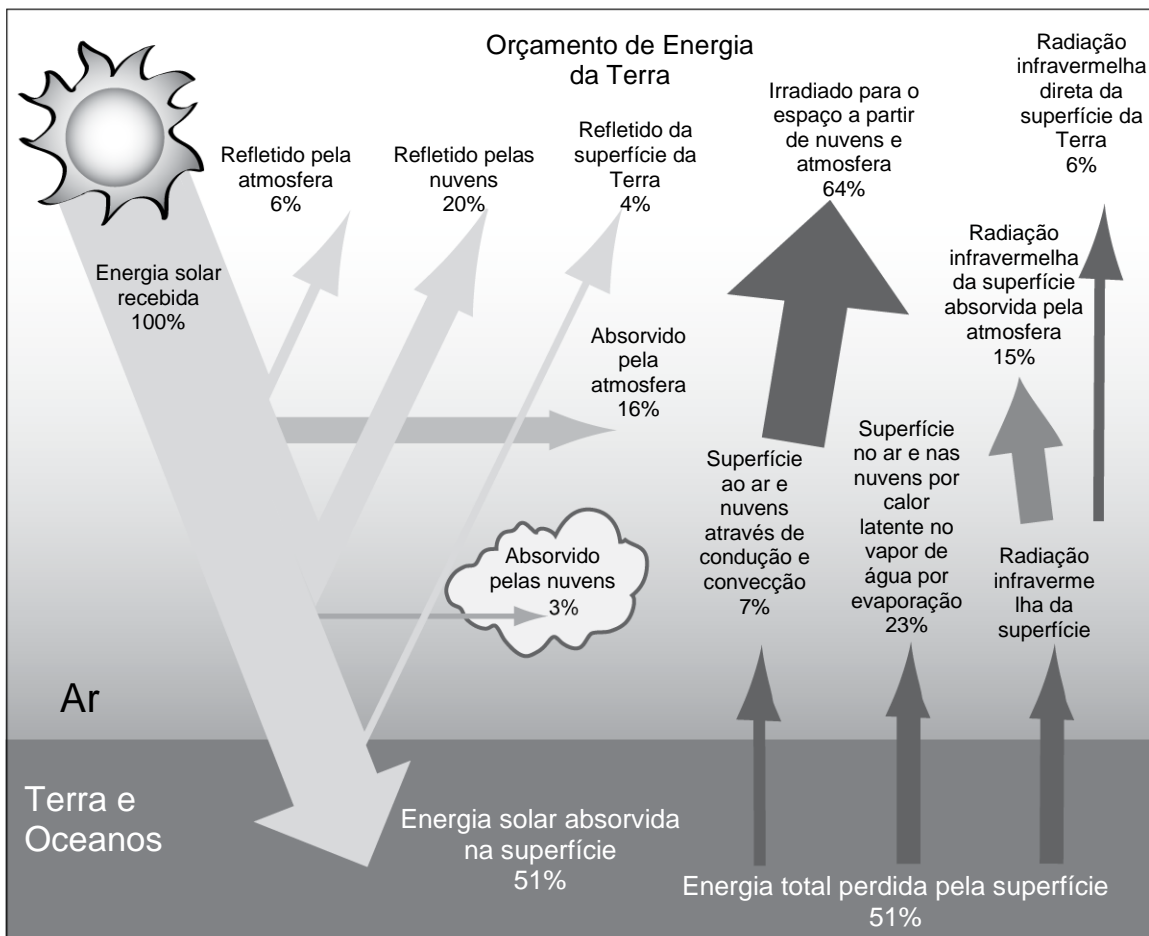


Figura EA-I-3: O Ciclo Hidrológico

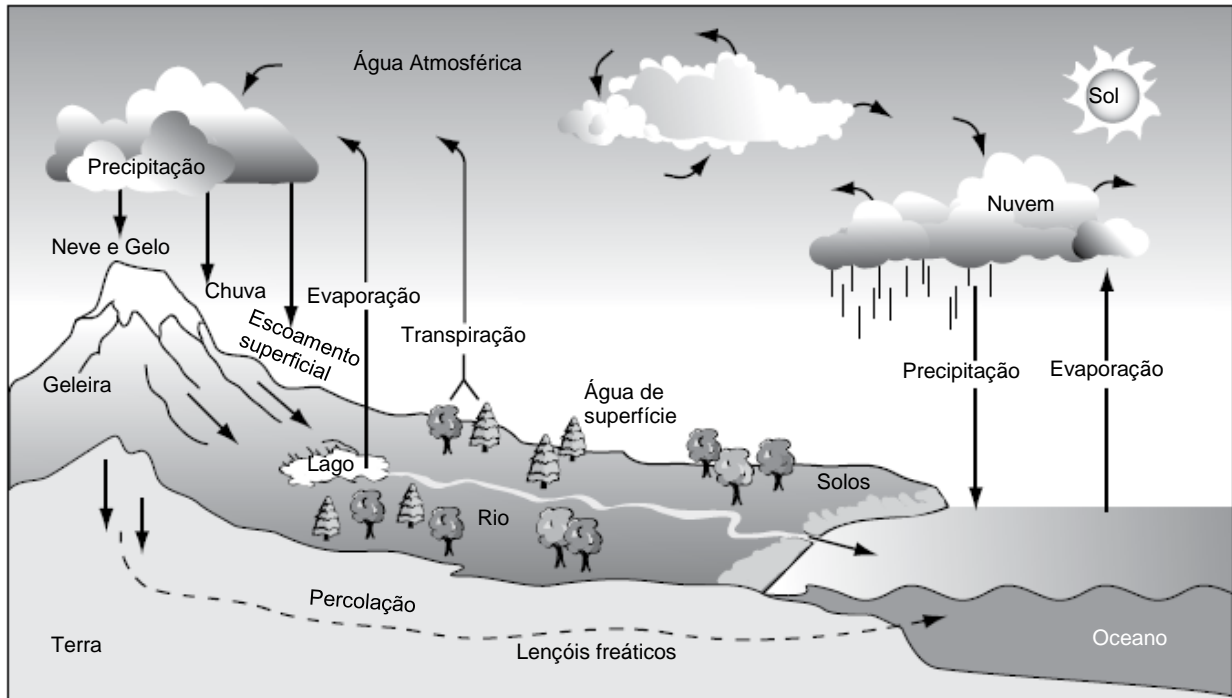
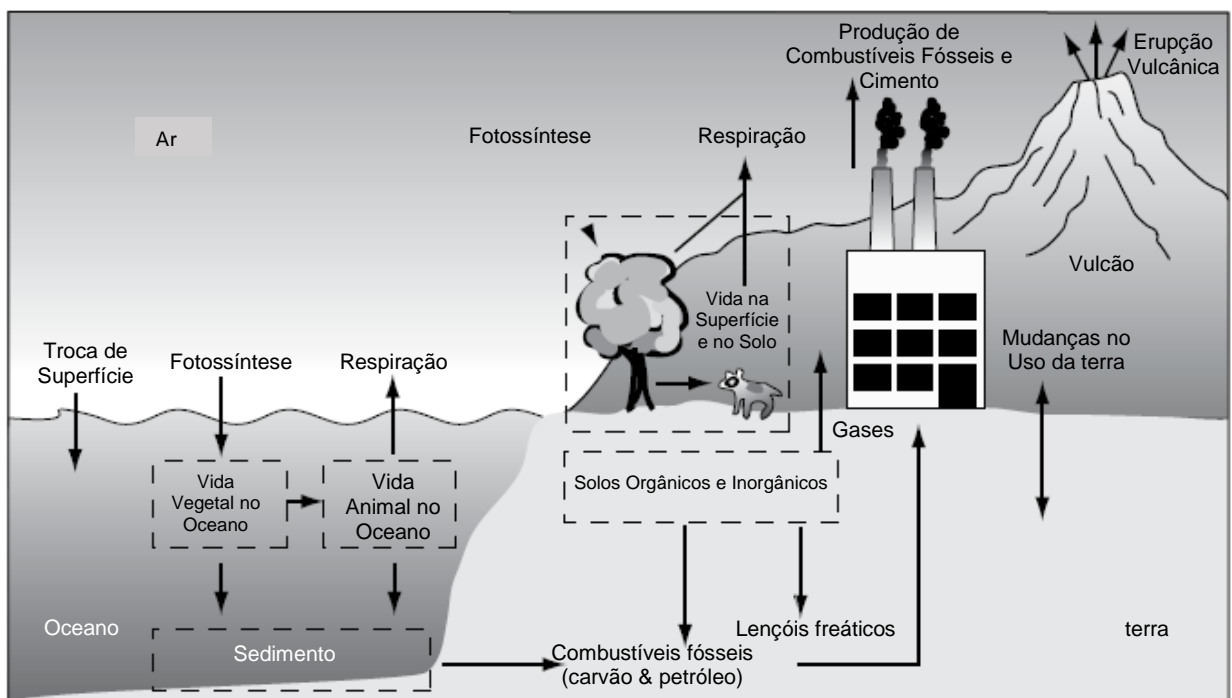


Figura EA-I-4: O Ciclo do Carbono







preencher espaços no solo, ser absorvida por plantas, ser consumida por animais, penetrar através do solo em lençóis freáticos, escoar na superfície da terra em rios, córregos, lagos e, finalmente, nos oceanos ou tornar-se parte de uma massa de água de superfície. A neve e o gelo refletem mais luz solar de volta ao espaço do que a água do oceano ou a maioria dos outros tipos de cobertura da terra; portanto, a quantidade de neve ou gelo que cobre a superfície da Terra afeta o ciclo de energia.

Juntos, os ciclos combinado de energia e hidrologia afetam os ciclos biogeoquímicos. Na atmosfera, as reações químicas causadas pela luz solar criam e destroem uma rica mistura de produtos químicos, incluindo ozônio e óxidos de nitrogênio. Alguns desses produtos químicos combinam-se com a água para formar partículas líquidas e sólidas em aerossóis suspensas no ar. Os produtos químicos atmosféricos e os aerossóis são incorporados às gotas de água e aos cristais de gelo e são transportados da atmosfera para a superfície por precipitação. Os micro-organismos no solo e nas águas superficiais, plantas e animais captam substâncias químicas do ar e da água ao seu redor e liberam outras substâncias químicas na atmosfera, solo, corpos de água doce e oceanos. Os ventos aumentam a evaporação da água da superfície e sopram partículas finas de grãos no ar, onde são suspensas como aerossóis. As atividades agrícolas e industriais também fornecem e removem energia, água, gases e partículas das águas superficiais, do solo, das rochas e do ar. A quantidade e distribuição de gases como vapor de água, dióxido de carbono, óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), e metano na atmosfera determinam como a radiação infravermelha é absorvida e transmitida entre a superfície e o espaço da Terra. Por sua vez, isso afeta a temperatura na superfície e em toda a atmosfera. Existem muitas outras maneiras pelas quais os ciclos de energia, água e biogeoquímica interagem e influenciam nosso ambiente, muito mais do que pode ser descrito aqui.

### **Como as medidas do GLOBE Contribuem para os Estudos do Sistema Terrestre**

As medições do GLOBE da temperatura do ar, corpos d'água, superfície terrestre e solo ajudam a acompanhar o ciclo de energia. Os alunos do GLOBE também medem cobertura de nuvens, tipo de nuvem, aerossóis, vapor de água precipitável, transparência da água e cobertura do solo. Cada uma dessas observações ajuda os cientistas a determinar o que acontece com

a radiação solar (luz solar) e a radiação infravermelha térmica originária da Terra (calor). Quanta luz solar é refletida ou absorvida pelas nuvens ou pela superfície da Terra? Quanta radiação infravermelha é absorvida pela atmosfera e quanto é re-irradiada de volta para baixo?

Medições GLOBE de precipitação líquida e sólida, vapor de água precipitável, umidade relativa, umidade do solo, cobertura da terra e copa e cobertura do solo e a identificação das espécies dominantes e codominantes de árvores, e os ciclos sazonais (fenologia) das plantas ajudam a rastrear o ciclo hidrológico. O conhecimento das características do medidor superior do solo e de suas propriedades de infiltração permite que os cientistas calculem como a água passará para dentro e através do solo; a densidade do solo e a densidade de partículas determinam quanta água pode ser armazenada no solo. As medições da temperatura da superfície de um corpo d'água ou superfície terrestre e da umidade e temperatura do solo permitem estimar as taxas de evaporação. As plantas retiram a água do solo e a transpõem através de suas folhas para a atmosfera; com plantas decíduas, esse processo começa quando suas folhas emergem e termina quando morrem e caem. Quanta chuva cai na Terra? O ciclo hidrológico está se tornando mais intenso? Os vários fluxos no ciclo hidrológico estão aumentando?

As observações do GLOBE contribuem para o estudo dos ciclos biogeoquímicos. As medições do pH da precipitação, dos horizontes do solo e das águas superficiais são fundamentais porque o pH influencia a maneira como diferentes elementos químicos interagem com a água que flui pelo ambiente. A redução do pH pode mobilizar diferentes produtos químicos das superfícies de rochas e partículas do solo. As plantas vivas são um reservatório significativo no ciclo do carbono. As medições da massa de gramíneas secas e da circunferência e altura das árvores permitem estimar quanto carbono é armazenado na biomassa viva de uma floresta ou pastagem. A fotossíntese é mais intensa durante a estação de crescimento, portanto, conhecer o peso dessa estação está relacionado à quantidade de carbono absorvida pelas plantas verdes. À medida que o carbono é adicionado à atmosfera, quanto é retirado pela vegetação terrestre? O ciclo anual de aumento e diminuição de dióxido de carbono na atmosfera está mudando?

## Sistemas Abertos versus Fechados

Se você olhar a Terra a partir do espaço sideral, a Terra é um sistema quase fechado. Um sistema fechado é aquele em que nenhuma matéria entra ou sai. (Um sistema isolado é aquele em que nenhuma matéria ou energia entra ou sai.) Além de algumas partículas que entram na atmosfera da Terra (meteoros) e alguns átomos (principalmente hidrogênio) que entram e saem do topo da atmosfera, os componentes permanecem na Terra sem novas adições. Ao estudar a Terra como um todo, você geralmente não precisa considerar os efeitos das entradas e saídas do sistema Terrestre, exceto a energia do sol.

Sistemas menores podem ser aninhados em sistemas maiores. Por exemplo, você pode estudar uma bacia hidrográfica - a área de terra que drena para um corpo d'água. As bacias hidrográficas vêm em uma variedade de tamanhos, com os menores combinando para formar os maiores. Por exemplo, você pode estudar toda a área que deságua no Oceano Ártico, ou concentrar-se apenas na bacia do rio MacKenzie, no Canadá, ou apenas no rio Liard, um afluente do MacKenzie. Onde você definir os limites do seu sistema, como um divisor de águas, depende das perguntas que estão sendo feitas. Esses conceitos serão desenvolvidos mais em Explorando as Conexões.

Qualquer sistema dentro do sistema Terrestre, como uma bacia hidrográfica, é considerado um sistema aberto. Água e produtos químicos, além de energia, entram e saem dos limites do sistema. Ainda assim, os componentes desse sistema aberto podem estar mais intimamente conectados entre si do que com as trocas entre o sistema e seus arredores. As entradas e saídas podem ser importantes para entender a dinâmica do sistema que você está estudando.

### Escalas de Espaço e Tempo

Todos os processos do sistema Terrestre ocorrem em escalas específicas de espaço e tempo. Alguns ocorrem em uma escala microscópica tão pequena que nossos olhos não podem vê-los, enquanto outros fenômenos cobrem um continente inteiro ou o planeta inteiro. As escalas de tempo para diferentes fenômenos também variam tremendamente. Algumas reações químicas atmosféricas ocorrem em frações de segundo. A formação do solo com sua interação de características físicas, químicas e biológicas ocorre localmente ao longo de muitos anos (geralmente a uma taxa de 1 cm de

profundidade por Século). Os principais sistemas climáticos, incluindo furacões, geralmente se desenvolvem e se dissipam em escalas de tempo de uma a duas semanas e cobrem centenas de quilômetros.

Partes dos vários ciclos do sistema Terra podem ser medidas e compreendidas localmente em escalas de tempo relativamente curtas, de segundos a dias; em outros casos, é preciso tentar caracterizar o mundo inteiro por décadas para testar teorias, entender processos e obter conhecimento geral. Vamos considerar um exemplo de cada situação:

#### 1. O saldo na quantidade e no fluxo de água em uma pequena bacia hidrográfica.

Podemos amostrar a entrada de água na superfície medindo a precipitação em um ou mais locais (quanto mais locais, melhor será a estimativa). A evaporação da água pode ser calculada a partir de medições de temperatura do solo e da água da superfície e conhecimento da umidade ou do tamanho da partícula ou textura da superfície do solo. A transpiração da água pelas árvores e outras plantas pode ser estimada através do mapeamento da cobertura da terra, da medição da copa e da cobertura do solo em vários locais e da identificação das espécies dominantes de árvores nas florestas e bosques. As medições de umidade do solo e os níveis de córregos, lagos e rios informam quanta água é armazenada na bacia (descontando aquíferos ou outros grandes corpos de água subterrâneos). O nível do córrego ou rio através do qual a água flui para fora da bacia é uma indicação de quão rápido é esse fluxo. As entradas e saídas devem equilibrar-se com a mudança na quantidade de água armazenada. A maioria das medições necessárias está incluída nos protocolos GLOBE e as demais podem ser obtidas de outras fontes ou medidas com a ajuda de cientistas locais.

#### 2. Noções sobre a Oscilação El Niño/Sul (ENSO)

Os episódios quentes da ENSO ocorrem em intervalos irregulares de dois a sete anos. Mudanças se desenvolvem em toda a bacia do Pacífico equatorial e efeitos foram observados seis meses depois nas zonas temperadas de ambos os hemisférios.



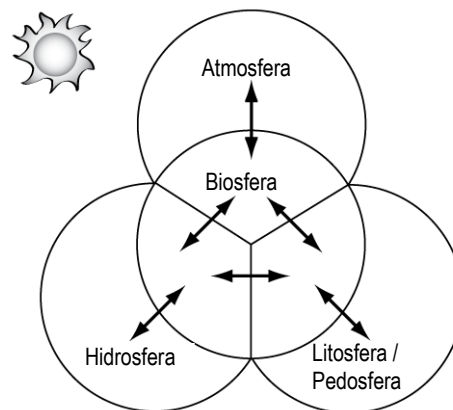
Pequenos fenômenos remanescentes de eventos quentes foram observados pelos satélites até dez anos depois. Para caracterizar completamente esse fenômeno e seus efeitos, precisamos levar dados por muitos anos em escala global e procurar conexões, causas e consequências. As previsões baseadas em uma compreensão geral da ENSO podem ser examinadas localmente usando registros de dados que cobrem muitos meses, incluindo os conjuntos de dados coletados e relatados como parte do GLOBE. Os dados dos alunos GLOBE sobre temperatura e precipitação do ar podem ser comparados com as previsões do modelo dos efeitos da ENSO para ajudar a determinar a adequação de nossas habilidades atuais de compreensão e modelagem.

## Conceitos Importantes

Conforme discutido nas páginas anteriores, ao estudar a Terra como um sistema, existem alguns conceitos importantes para entender. São eles:

- A Terra é um sistema composto de componentes.
- Energia, a água e os elementos químicos são armazenados em vários lugares e formas e são transportados e transformados por vários processos e ciclos.
- As conexões entre os fenômenos podem ser rastreadas através dos ciclos energético, hidrológico e biogeoquímico.
- Os fenômenos ocorrem em uma escala de tempo e escalas espaciais.

Quatro Componentes Principais do Sistema Terrestre



**Nota:** Ver Diagramação da Terra como um Sistema em Exploração das Conexões Introdução.



# A Terra como um Sistema

## O Ciclo Sazonal

### A Visão Sazonal: Por que há estações?

As estações da Terra mudam regularmente e trazem um ritmo às nossas vidas. Seja na chegada das neves do inverno, nas chuvas das monções ou no calor do verão, nosso ambiente muda constantemente e essas mudanças profundas ocorrem em períodos relativamente curtos. A recorrência de maneiras previsíveis ajuda a tornar tão grandes e complexas alterações compreensíveis. Muitas civilizações antigas observaram que a posição do Sol no céu mudou ao longo do ano e foram capazes de construir calendários e fazer previsões com base em suas observações, usadas para fins agrícolas e religiosos.

Todas as mudanças sazonais são causadas por mudanças na intensidade da luz solar que atinge a superfície da Terra (insolação). Mais energia por unidade de área leva a temperaturas mais altas, o que resulta em mais evaporação, que produz mais chuva, que inicia o crescimento das plantas. Esta sequência descreve a Primavera para muitos climas de latitude média. Como a luz visível é a principal forma de energia solar que atinge a Terra, a duração do dia é uma maneira razoavelmente precisa de medir o nível de insolação e tem sido usada há muito tempo como uma maneira de entender quando uma estação termina e a próxima começa. O primeiro dia do verão (solstício de verão) é o dia mais longo do ano. O inverno começa no dia mais curto do ano (solstício de inverno). Os primeiros dias da primavera e do outono são quando o dia e a noite têm a mesma duração - aproximadamente 12 horas cada. Hoje em dia, os equinócios são vernais e outonais.

A mudança da duração do dia resulta do eixo de alternância da Terra inclinado  $23,5^\circ$  em relação ao plano de sua órbita ao redor do sol. A Figura EA-I-5 mostra a Terra inclinada em diferentes posições em sua órbita. Observe como nas posições do solstício, cada pólo é inclinado na direção ou longe do Sol. O pólo inclinado em direção ao Sol recebe 24 horas de luz solar, e o que está inclinado para fora está na sombra da Terra e experimenta 24 horas de escuridão. Nas posições do equinócio,

A Terra é inclinada de tal maneira que cada pólo recebe quantidades iguais de insolação. Esta discussão se concentra nos pólos porque eles experimentam os maiores extremos da insolação. Por causa da inclinação do eixo da Terra, os níveis de insolação em todos os pontos da Terra mudam constantemente. Chamamos os efeitos agregados dessas mudanças nos níveis

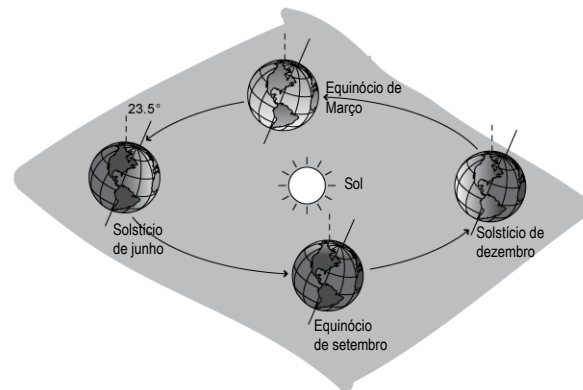
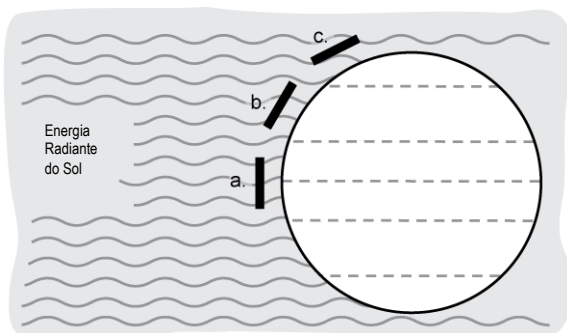


Figura EA-I-5: Inclinação do Eixo da Terra

A inclinação no eixo de alternância da Terra tem um efeito adicional, que amplia o efeito da duração do dia. Em toda latitude, a superfície da Terra está em um ângulo diferente em relação à luz solar que chega. Ver Figura EA-I-6. Quando a superfície é perpendicular à luz do sol, o sol está diretamente acima (a) e a quantidade de luz solar que atinge uma área fixa é máxima. As áreas indicadas por b e c recebem menos luz solar (e, portanto, energia) por unidade de área (por exemplo, por metro quadrado), a área c recebe a menor quantidade de energia solar por metro quadrado. À medida que o sol se move mais baixo no céu e o ângulo em que a luz solar atinge o solo diminui, a intensidade da luz solar atingindo a mesma área diminui. No verão, o sol está mais próximo de ser direto no meio-dia solar local do que no inverno, exceto perto do equador. Portanto, não é apenas o dia mais longo no verão que no inverno, mas o sol fornece mais energia a cada unidade de área da superfície da Terra no hemisfério onde é verão.

Figura EA-I-6: Como a Latitude Afeta a Quantidade de Energia Recebida do Sol

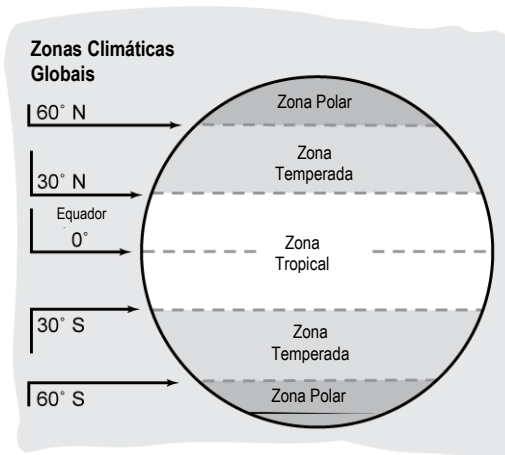


## Fatores que Influenciam os Padrões Sazonais Locais

### Latitude

A Figura EA-I-7 mostra como os níveis de insolação variam com a latitude ao longo do ano. Por causa dessa variação, a latitude exerce uma poderosa influência na determinação das condições sazonais e dos padrões anuais de parâmetros ambientais e climáticos, como precipitação e temperatura. Devido às diferenças na duração e na franqueza da insolação, o mundo pode ser dividido nas zonas mostradas na Figura EA-1-8. A mesma estação pode ser bem diferente nas zonas Tropical, Temperada e Polar.

Figura EA-I-8: Zonas Climáticas Globais Aproximadas

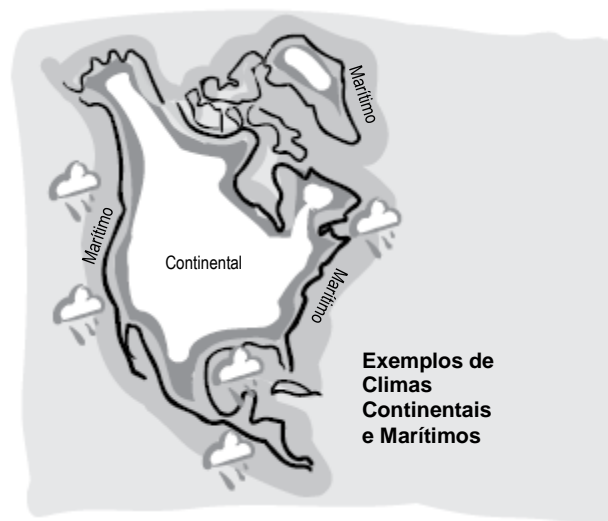


### Climas Continentais e Marítimos

O clima também varia drasticamente, dependendo da quantidade de água no ambiente. Quando a luz solar atinge a superfície da água, quatro coisas impedem que a superfície da água se aqueça tanto quanto a superfície da terra. Primeiro, o calor específico ou a energia necessária para aquecer um grama de água um K é  $1 \text{ cal g}^{-1} \text{ K}^{-1}$  comparado a  $0,4$

$\text{cal g}^{-1} \text{ K}^{-1}$  para o solo. Portanto, é necessário 2,5 vezes a energia para aquecer a água em 1K do que para aquecer o solo 1K. Segundo, parte da luz solar penetra muitos metros na coluna de água. Isso espalha a energia recebida no corpo d'água e a superfície é menos aquecida. Além disso, a água mais fria de profundidades inferiores se mistura até certo ponto com a água da superfície e modera suas mudanças de temperatura. Terceiro, os ventos produzem movimento nas águas superficiais, o que causa uma mistura de calor por toda a camada superficial. Quarto, à medida que a água superficial aquece, a evaporação aumenta. A evaporação resfria a superfície e, portanto, a temperatura da superfície da água responde menos ao aquecimento solar do que a superfície da terra. As terras próximas a grandes massas de água que não congelam no inverno têm clima Marítimo. Isso apresenta grandes quantidades de umidade e menores mudanças de temperatura do verão para o inverno do que um clima continental. O tamanho de um continente afeta tanto a faixa de temperatura quanto a quantidade de umidade no interior - quanto maior o continente, mais longe o oceano e maior a diferença entre verão e inverno.

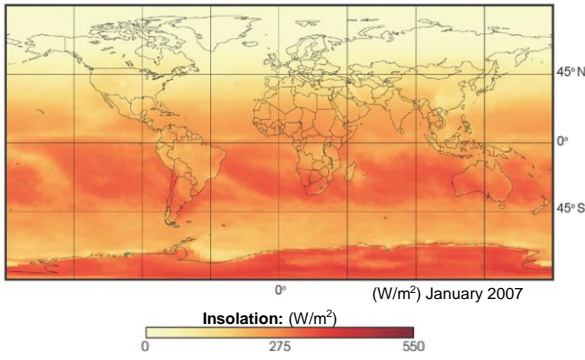
Figura EA-I-9: Climas Continental e Marítimo



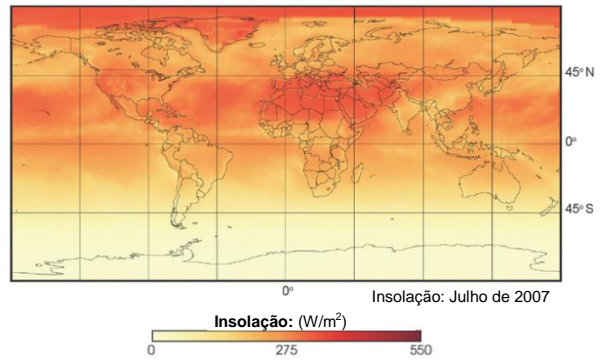
### Direção do vento

A direção dos ventos predominantes também afeta o clima local. Se uma área está a favor do vento (o litoral oeste dos continentes em latitudes médias), o clima é fortemente afetado pela presença do oceano, conforme descrito acima. Se os ventos sopram do interior do continente, eles tendem a ser secos e a trazer consigo os contrastes maiores nas temperaturas de verão e inverno. Áreas nas partes de alta latitude das zonas temperadas

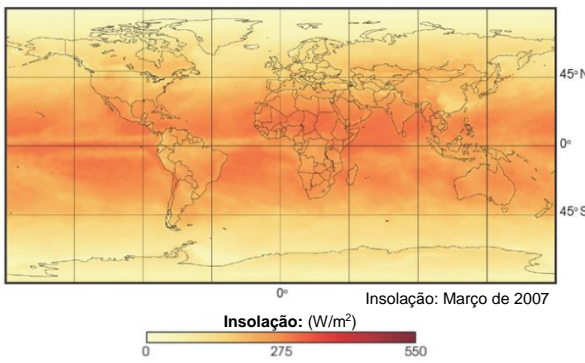
Figura EA-I-7: Radiação Solar de Entrada ao Longo do Ano de 2007



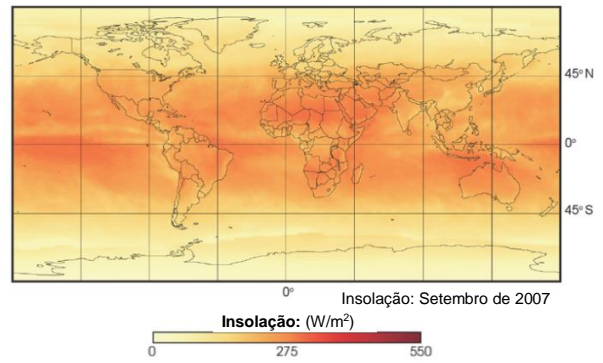
***Radiação Solar Recebida em Janeiro***



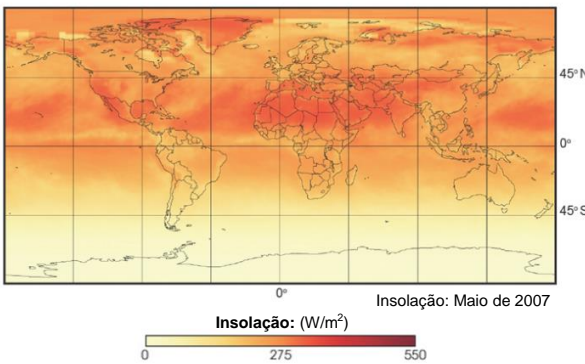
***Radiação Solar Recebida em Julho***



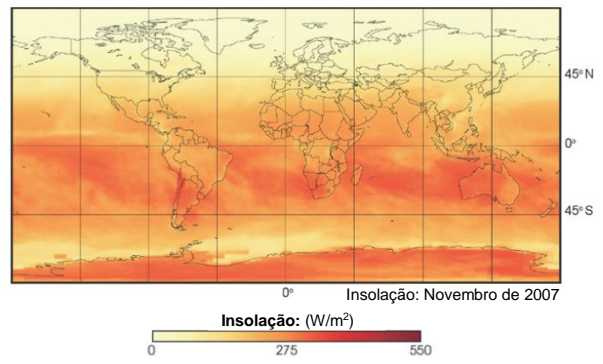
***Radiação Solar Recebida em Março***



***Radiação Solar Recebida em Setembro***

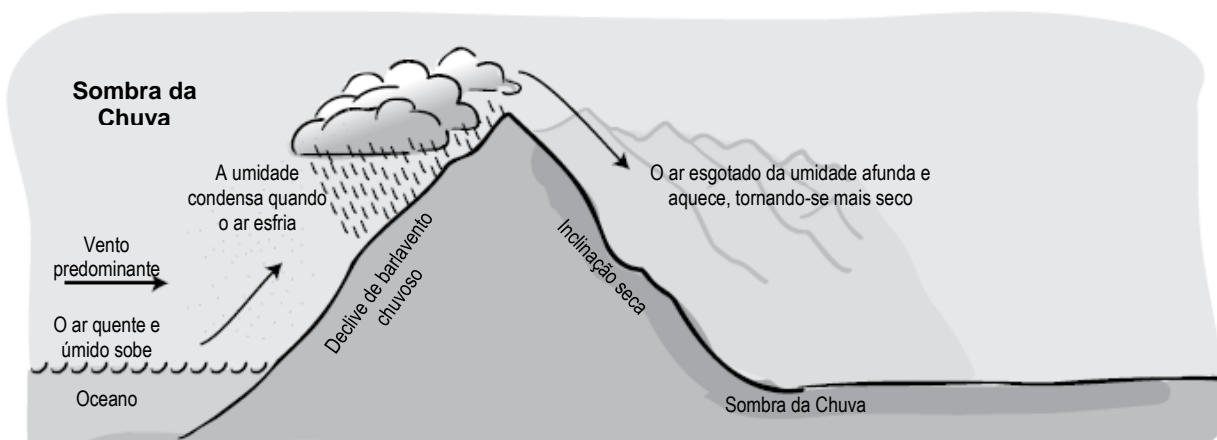


***Radiação Solar Recebida em Maio***



***Radiação Solar Recebida em Novembro***

Figura EA-I-10: Montanha Produzindo um Efeito de Sombra de Chuva



e o vento a favor dos lagos recebem grandes quantidades de neve com efeito de lago enquanto os lagos são descongelados. Geralmente, os ventos predominantes conectam o clima local a esse vento. Alterações sazonais na direção predominante dos ventos podem aumentar ou diminuir os contrastes sazonais.

#### Características geográficas

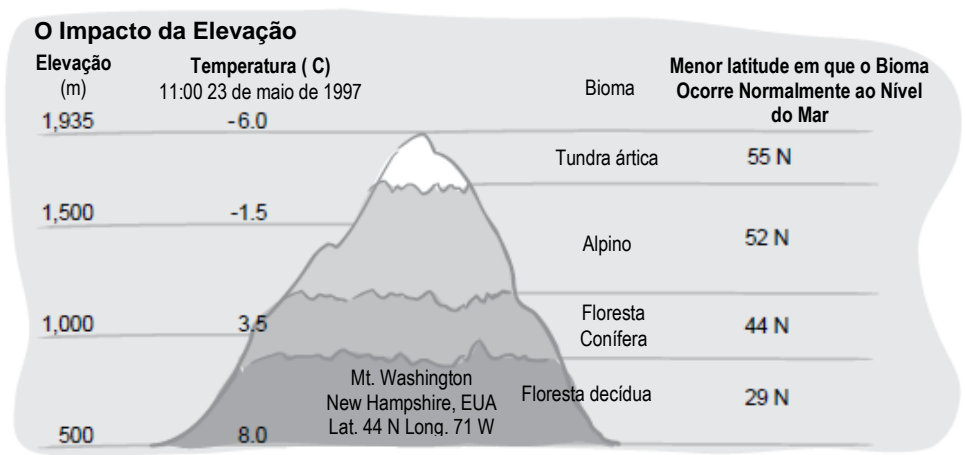
As características geográficas têm impactos profundos no clima das regiões próximas. Por exemplo, montanhas podem fazer com que o ar úmido suba e precipite quase toda a sua umidade. Quando o ar seco desce atrás da montanha, falta umidade suficiente para proporcionar muita precipitação. As montanhas criam uma sombra da chuva. Ver Figura EA-I-10. Muitos desertos são encontrados em tais sombras de chuva. Além das terras áridas, as regiões desérticas típicas carecem da umidade atmosférica que atua como isolamento entre a superfície e o espaço da Terra (a água é o principal gás de efeito estufa na Terra).

Por conseguinte, as áreas desérticas irradiam facilmente sua energia térmica para o espaço, e as diferenças de temperatura diurna e noturna são consideráveis.

A elevação também influencia os padrões sazonais. Alterações na elevação podem afetar o ambiente tanto quanto alterações na latitude. A temperatura média do ar cai aproximadamente 1 °C para cada aumento de 150 metros de altitude e, em termos de estação de crescimento, cada aumento de 300 m de altitude é aproximadamente equivalente a mover-se na direção contrária em 400-500 km (cerca de quatro a cinco graus de latitude) ) Os topos das montanhas podem ser vistos como ilhas climáticas em que, no Hemisfério Norte, as espécies do norte se estendem em direção ao sul nas montanhas, onde as condições se assemelham às de latitudes mais setentrionais. Plantas que crescem no topo do

Figura EA-I-11: Impacto da Elevação na Zona Climática





Monte de New Hampshire. Washington (1,935 m) se sentiria em casa crescendo ao nível do mar na tundra do Ártico, a 2.400 km ao norte no Canadá. Ver Figura EA-I-11.

A comparação desses diagramas para escolas em diferentes áreas (consulte a Figura EA-I-12) torna essas diferenças claras e gera perguntas sobre os motivos dessas diferenças.

Os alunos podem estudar cada um desses efeitos, analisando os dados da escola GLOBE. Um climatograma mostra a temperatura média mensal e o equivalente mensal total de água da precipitação durante todo o ano.

Figura EA-I-12: Climatogramas para Calcutá, Índia e Berkeley, Califórnia

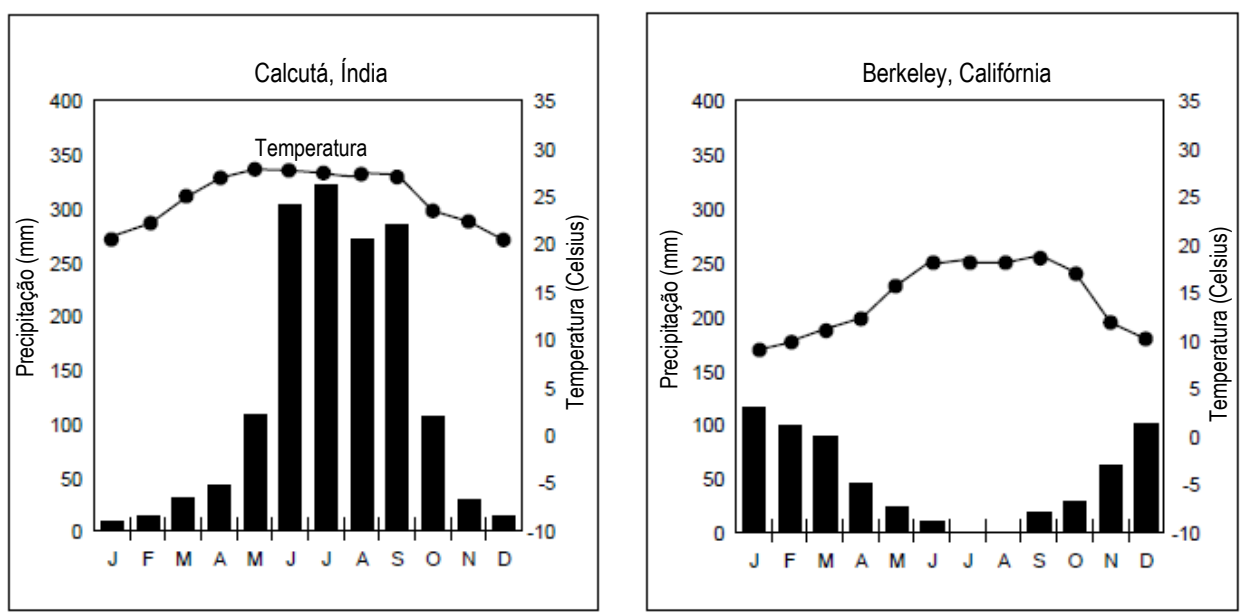
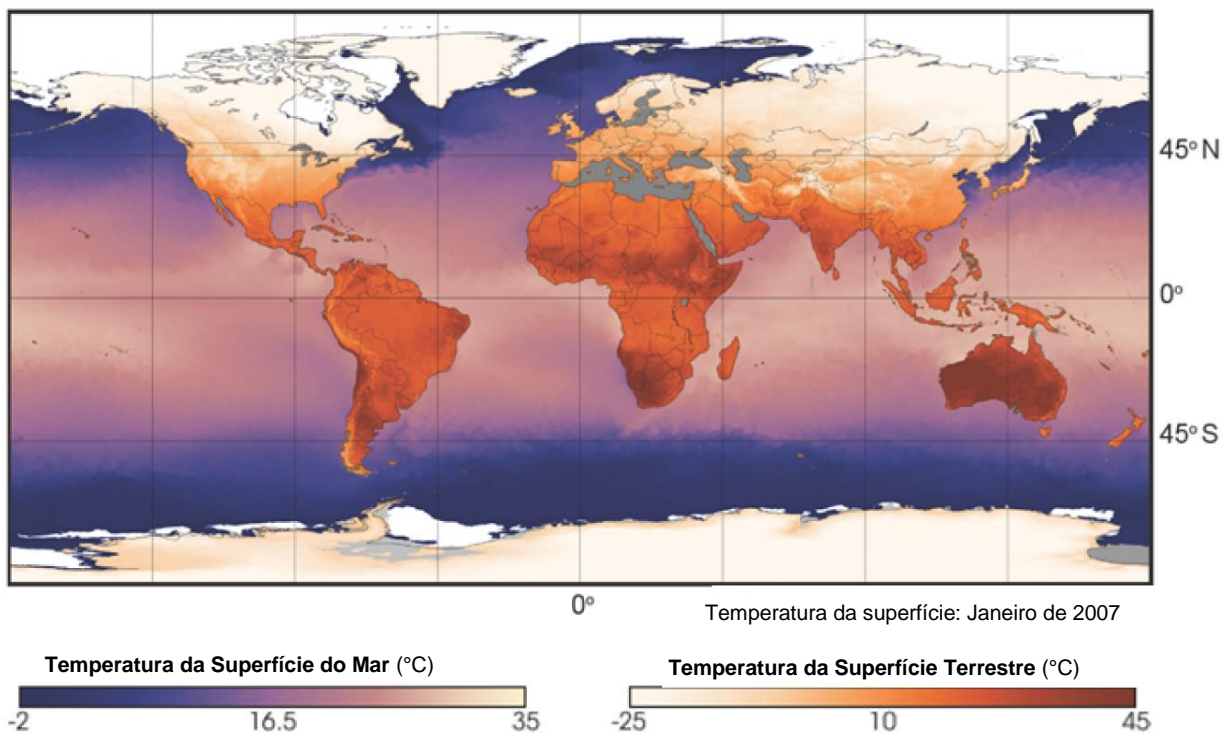
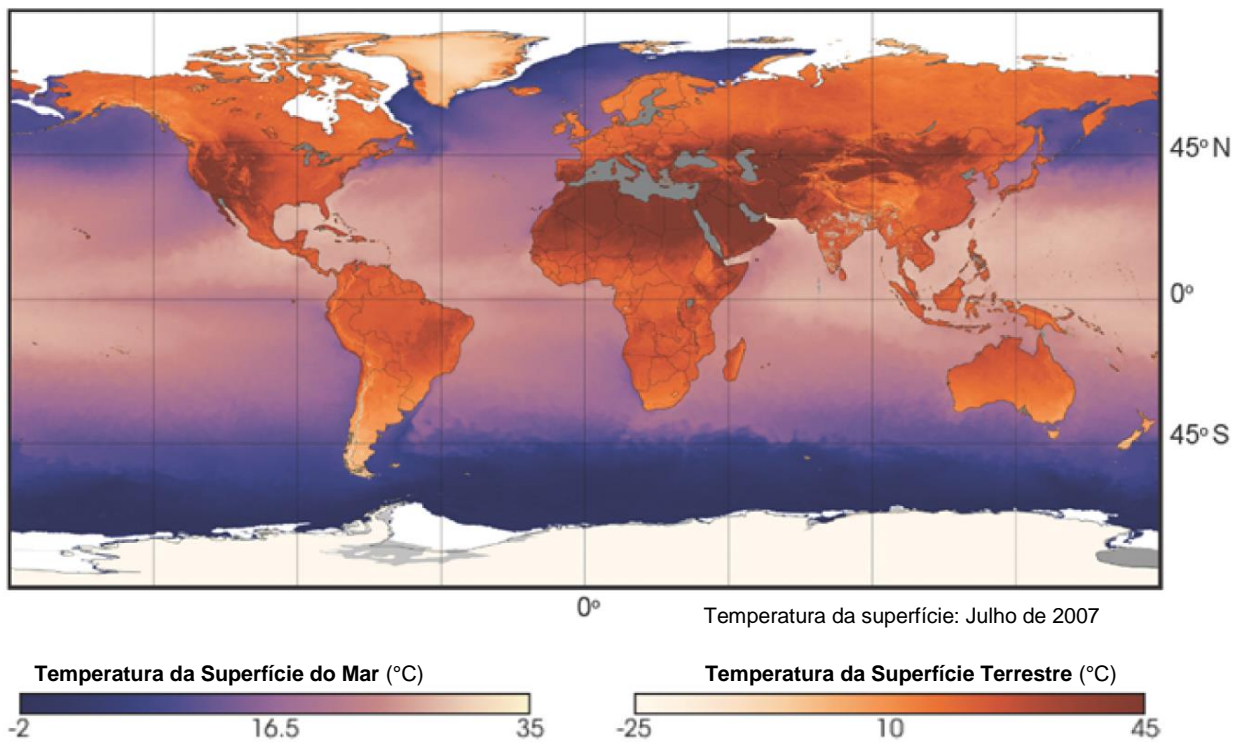




Figura EA-I-13: Temperatura Global do Ar na Superfície em janeiro e julho de 1988.



**Temperatura da Superfície de Janeiro**



**Temperatura da Superfície de julho**

## O Sistema Terrestre através do Ciclo Sazonal

No GLOBE, o ciclo sazonal desempenha um papel no tempo de algumas medições. O exame dos dados do GLOBE por meio do ciclo sazonal pode fornecer uma compreensão de como a Terra funciona como um sistema. Podemos ver isso examinando alguns exemplos de como o ciclo sazonal afeta diferentes componentes do sistema Terrestre. Os exemplos aqui podem fornecer algum material de apoio para entender e interpretar melhor os dados do GLOBE. Esses exemplos indicam nosso entendimento atual e são baseados em estudos anteriores. Muitos dos dados do GLOBE revelarão alguns desses padrões sazonais. Além disso, os dados do GLOBE expandem e refinam nossa compreensão dos padrões sazonais, examinando muitos locais por um longo período de tempo.

### A Atmosfera no Ciclo Sazonal

#### Temperatura

A relação entre a temperatura do ar e o número de horas de luz do dia é uma mudança sazonal familiar para pessoas em latitudes médias e altas. O ar na camada mais baixa da atmosfera é aquecido pelo contato com a superfície da Terra.

Durante o verão (Julho no hemisfério norte e janeiro no hemisfério sul), quando a elevação do sol é alta, a entrada de energia mais concentrada do sol e o aumento da luz do dia aquecem a superfície, que por sua vez aquece o ar. Durante o inverno (Janeiro no hemisfério norte e julho no hemisfério sul), quando a quantidade de radiação solar é espalhada por mais área de superfície, porque a elevação do sol é baixa e há menos horas de luz do dia, o sol aquece a superfície menos, resultando em menos aquecimento do ar. Compare a distribuição de Insolação (radiação solar recebida) em janeiro e julho (Figura EA-I-7) com a distribuição da temperatura da superfície em Janeiro e Julho (Figura EA-I-13), respectivamente.

Leva tempo para a superfície da Terra aquecer e para a atmosfera responder completamente a essas mudanças no calor da superfície. O momento em que a radiação solar é a mais forte fora dos trópicos é em junho no hemisfério norte e dezembro no hemisfério sul. Ver Figura EA-I-14. É quando os solstícios ocorrem. Entretanto, geralmente as temperaturas são mais quentes cerca de dois meses depois, em Agosto no hemisfério norte

Figura EA-I-14: Ciclo Sazonal de Radiação Solar a 35° N e 35° S

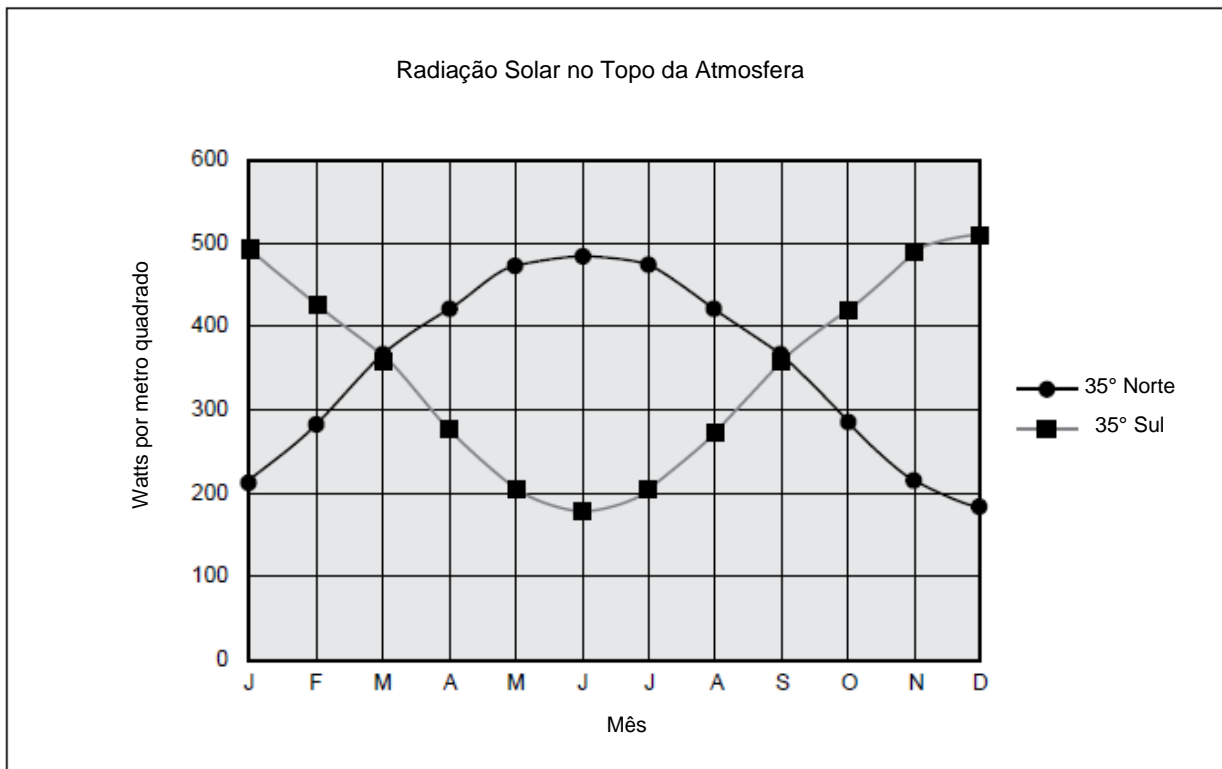


Figura EA-I-15: Ciclo sazonal da temperatura máxima do ar na superfície em ZS Bystrice nad Pertejnem na República Tcheca (localizada a cerca de 49,5° N) e Escuela Primaria Particular Incorporada N° 1345 Nuestra Señora del Carmen na Argentina (localizada a cerca de 33° S)

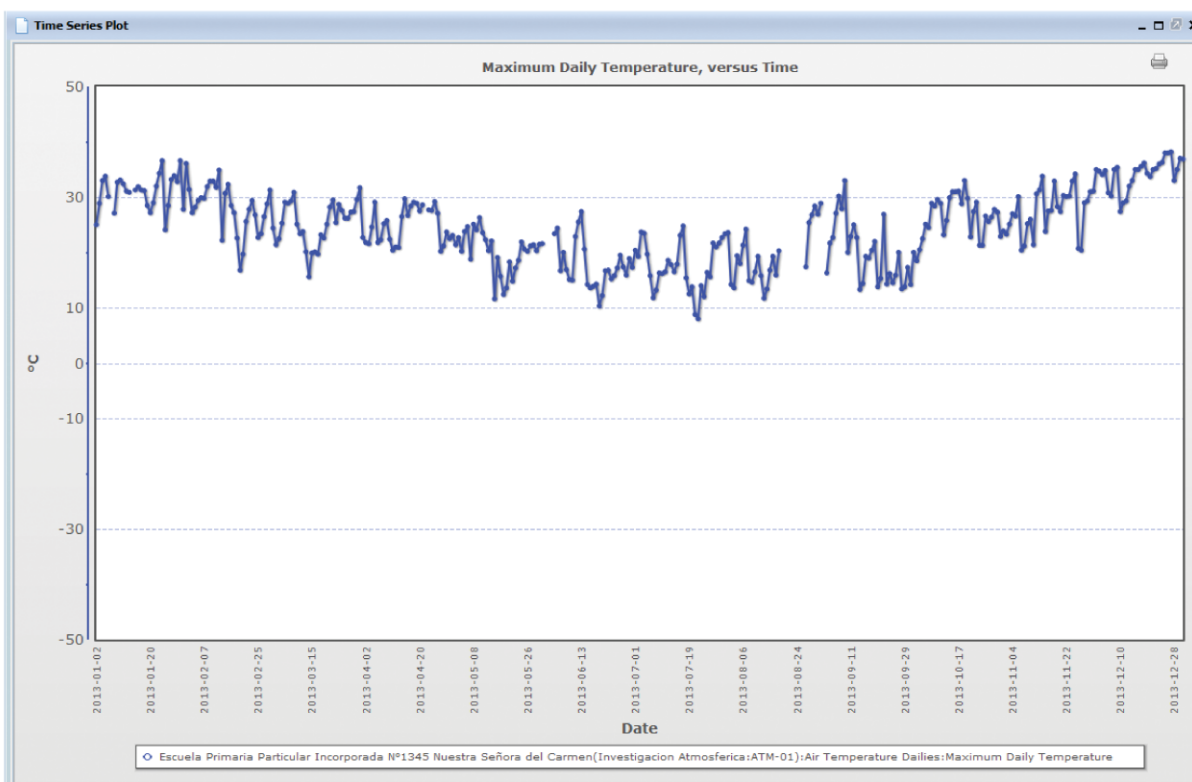
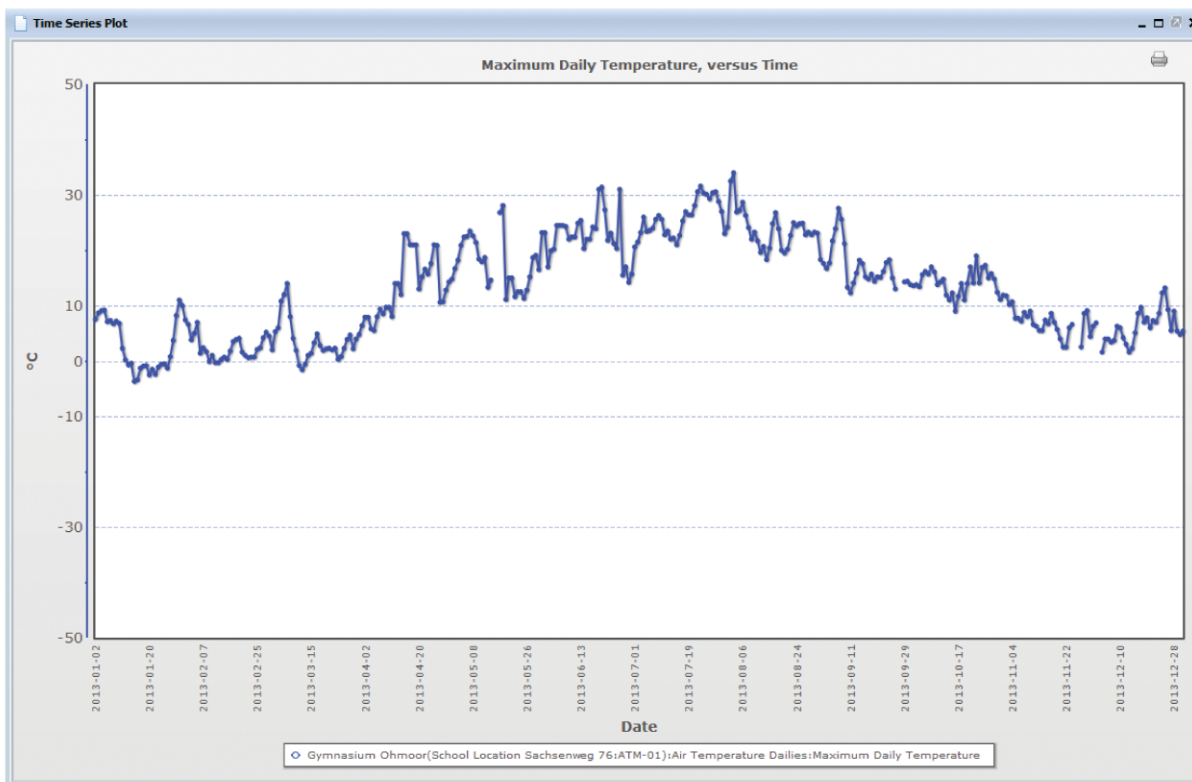
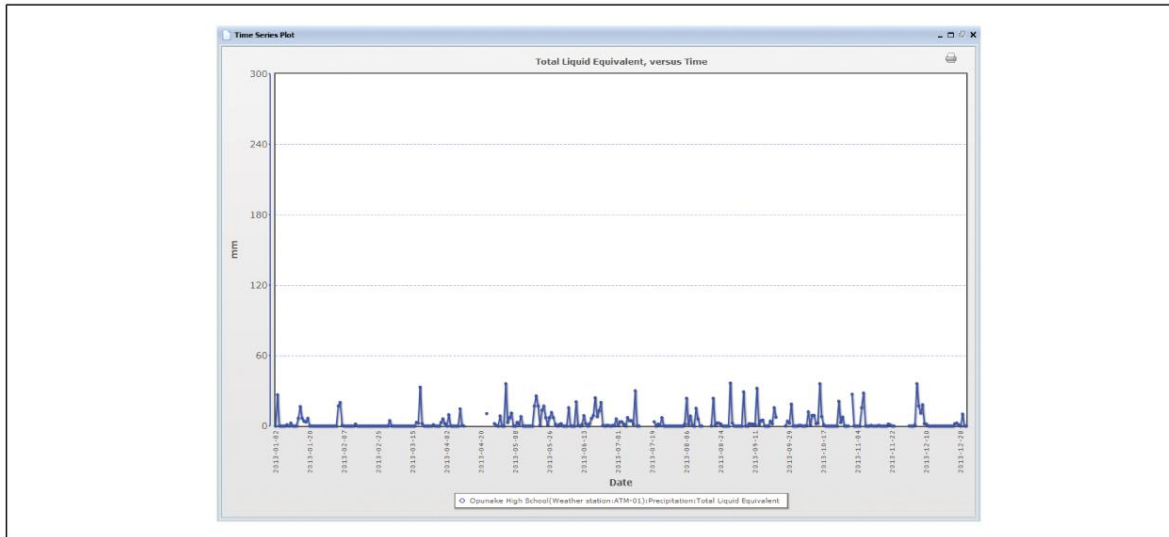
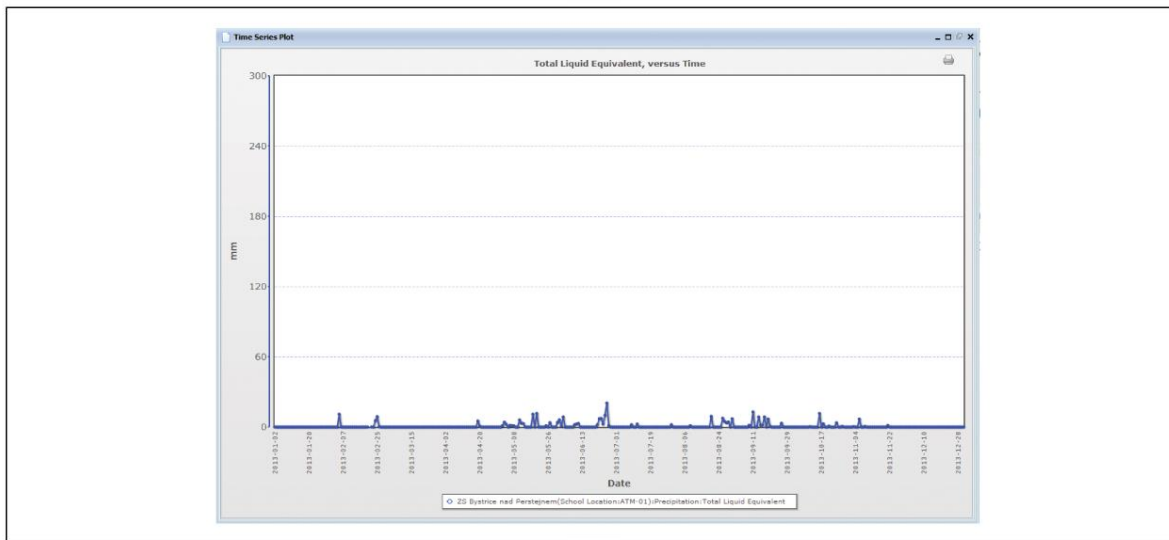
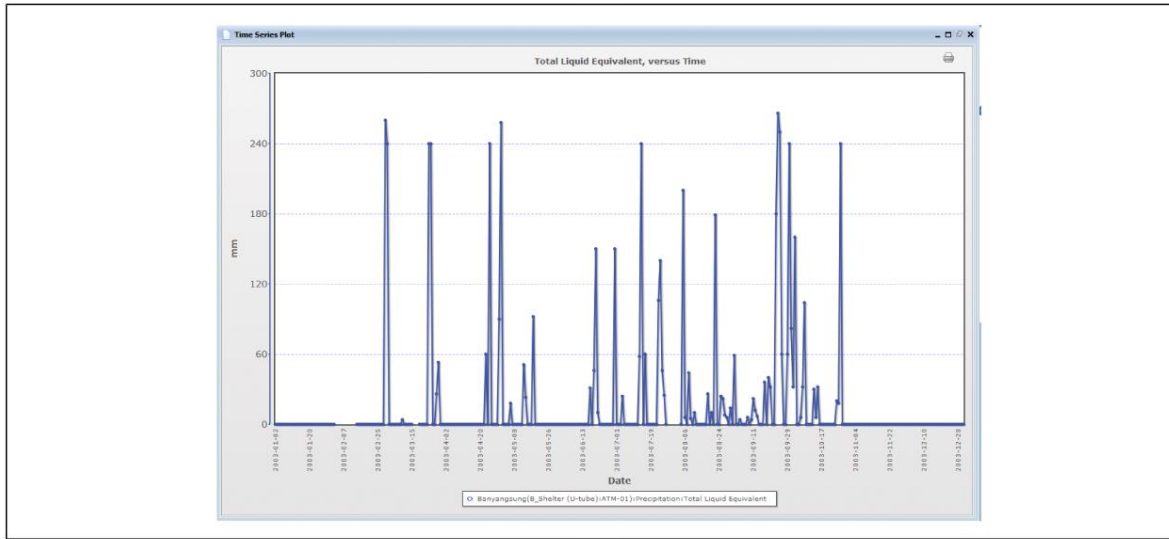


Figura EA-I-16: Ciclo sazonal de precipitação ao longo do ano em Banyangung, na Tailândia, ZS Bystrice nad Perstejnem, na República Tcheca, e Opunake High School, na Nova Zelândia.





e Fevereiro no hemisfério sul. Ver Figura EA-I-15. Isso se deve à quantidade de tempo necessária para aquecer a camada superior dos oceanos e a camada inferior da atmosfera.

### Precipitação

Em baixas latitudes, as mudanças sazonais de temperatura não são tão dramáticas quanto nas latitudes médias e altas, mas geralmente há uma mudança sazonal definida nos padrões de precipitação. As regiões equatoriais costumam sofrer estações “úmidas” e “secas”. A época do ano em que elas ocorrem depende de muitos fatores, como topografia regional e proximidade de grandes massas de água.

Outras localidades também mostram padrões sazonais na precipitação. Ver Figura EA-I-16. Algumas regiões não recebem precipitação por meses a fio. Em outros locais, a precipitação é distribuída uniformemente ao longo do ano. Alguns lugares têm uma estação chuvosa e uma estação seca, enquanto outros têm dois de cada um durante o ano. O momento das chuvas no ano tem um grande efeito na agricultura. O clima mediterrâneo é caracterizado pelas chuvas de inverno, enquanto outras regiões experimentam apenas chuvas de verão.

### Vapor de Água e Umidade Relativa do Ar

Como o valor de saturação do vapor de água atmosférico é fortemente influenciado pela temperatura, a concentração absoluta de vapor de água e a temperatura do ponto de orvalho têm um forte ciclo sazonal. As maiores concentrações de vapor de água e os pontos de orvalho mais altos ocorrem durante o verão e os mais baixos no inverno. A umidade relativa tende a ser mais alta durante a estação chuvosa. No entanto, pode ser alto mesmo no inverno, quando o ar está relativamente frio.

### Nuvens

Nos trópicos, uma faixa de baixa pressão e nebulosidade conhecida como Zona de Convergência Intertropical (ITCZ) se estende pelos oceanos. Imagens globais de satélite mostram nuvens que se estendem por regiões oceânicas, onde tempestades estão ativas. A posição média do ITCZ varia com a estação, movendo-se para o norte no verão do hemisfério norte e para o sul no verão do hemisfério sul. Ver Figura EA-I-17.

Há variações sazonais de nuvens em outras regiões. Geralmente, existe uma maior

cobertura de nuvens durante a estação chuvosa, quando os tipos de nuvens observados são principalmente nimbostratus e cumulonimbus. Durante os meses mais quentes, as nuvens do tipo cumulus são mais prováveis de serem observadas na maioria dos locais devido ao aquecimento da superfície da Terra. Durante os meses de inverno, devido ao menor aquecimento, as nuvens do tipo stratus são mais frequentemente observadas. Os sistemas frontais vigorosos que ocorrem durante os meses de primavera e verão em latitudes médias podem, e geralmente causam, grandes nuvens de trovoadas (cumulonimbus). Perto da costa leste, a água mais fria pode trazer nuvens do tipo stratus para a região durante o ano todo.

### Aerossóis

Aerossóis são colóides que consistem em gotículas líquidas ou partículas sólidas dispersas em um gás. Névoa e neblina são exemplos de líquidos dispersos em um gás e a fumaça é um exemplo de partículas sólidas dispersas em um gás. Os aerossóis afetam a espessura óptica da atmosfera, sendo maior durante o verão e menos no inverno. Outros eventos sazonais também podem influenciar a quantidade de neblina, especialmente tempestades de poeira, incêndios florestais e atividades agrícolas.

### Composição Atmosférica

As concentrações atmosféricas de gases traços também exibem ciclos sazonais distintos. O registro mais longo de uma medição de gás traço é o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e seu ciclo sazonal reflete a sazonalidade do crescimento da floresta. As concentrações mais baixas ocorrem no hemisfério norte, primavera e verão, quando a biosfera usa CO<sub>2</sub> para fotossíntese. As concentrações aumentam durante o outono e o inverno no hemisfério norte, uma vez que o CO<sub>2</sub> não é mais absorvido pelo crescimento da vegetação, e a deterioração das folhas devolve o CO<sub>2</sub> de volta à atmosfera. Esse ciclo é dominado pela maior extensão da vegetação terrestre no hemisfério norte. Ver Figura EA-I-18.

Outro gás traço importante é o ozônio, que existe na atmosfera inferior como componente natural, onde sua fonte primária é a estratosfera, e como poluente, onde é formado como resultado de emissões de fontes de combustão. Nas latitudes médias do norte, o ozônio de superfície atinge o pico no verão, quando a luz solar é mais intensa e as reações fotoquímicas ocorrem mais rapidamente, convertendo hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio em ozônio. Nas latitudes médias meridionais,



Figura EA-I-17: Posições médias da Zona de Convergência Intertropical (ITCZ) em Janeiro e Julho

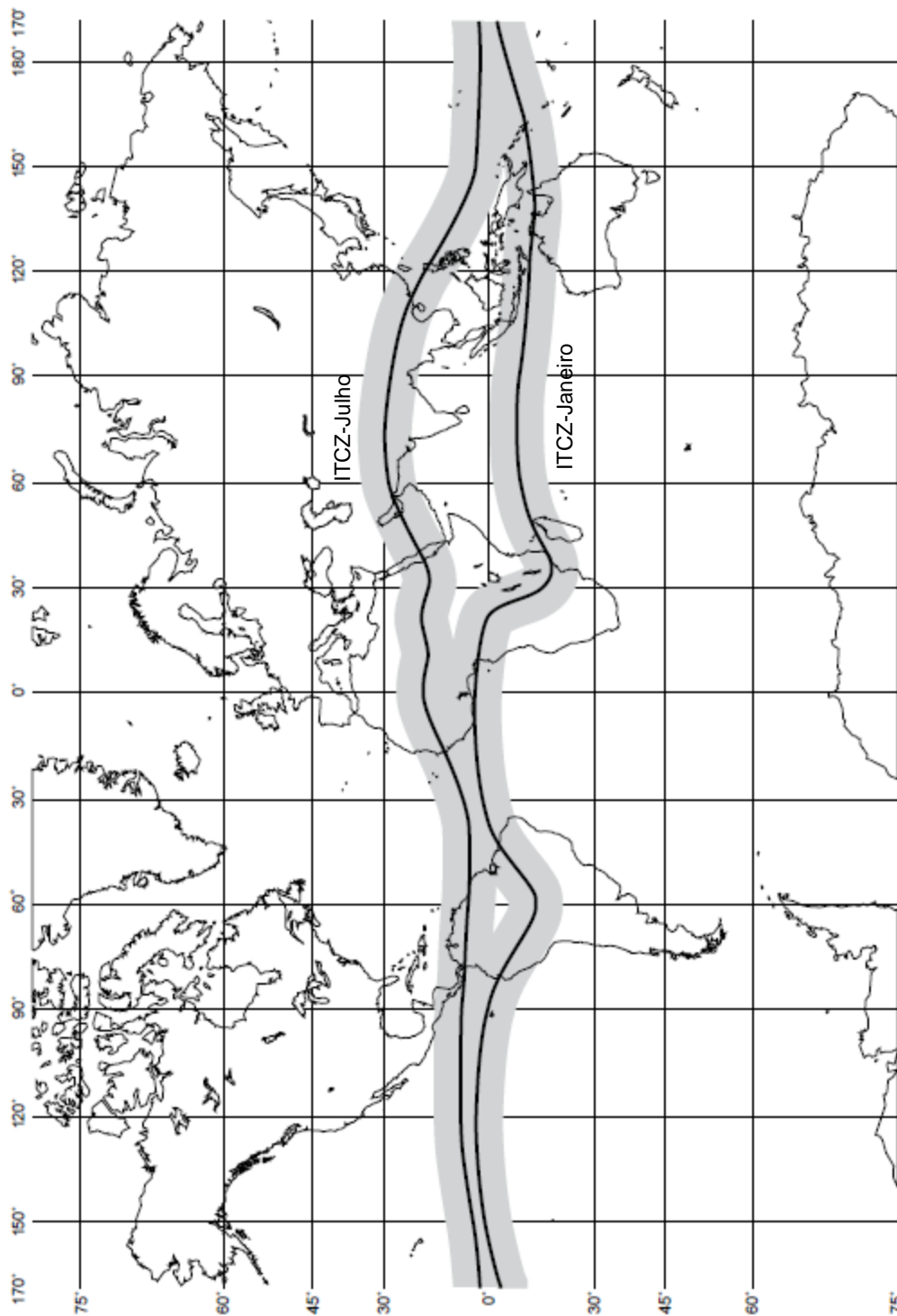


Figura EA-I-18: A variação sazonal de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera de 1986 a 1988 medida em Mauna Loa, Havaí

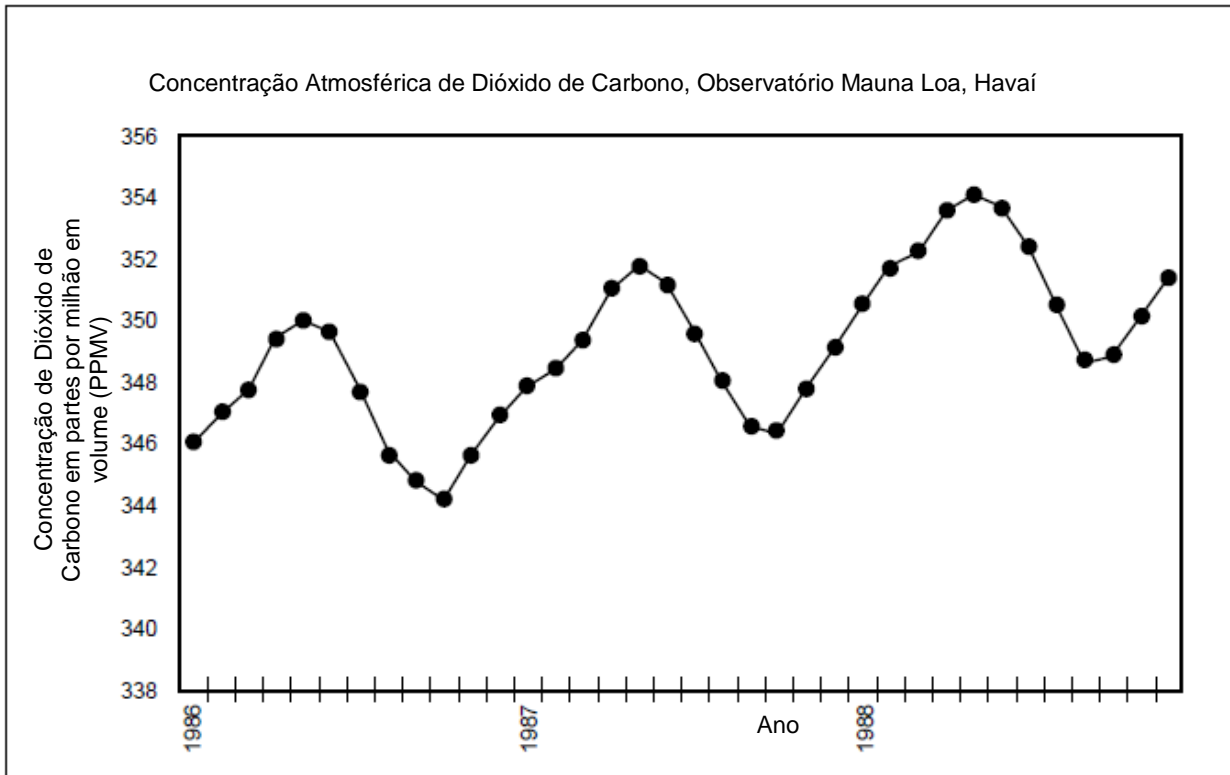
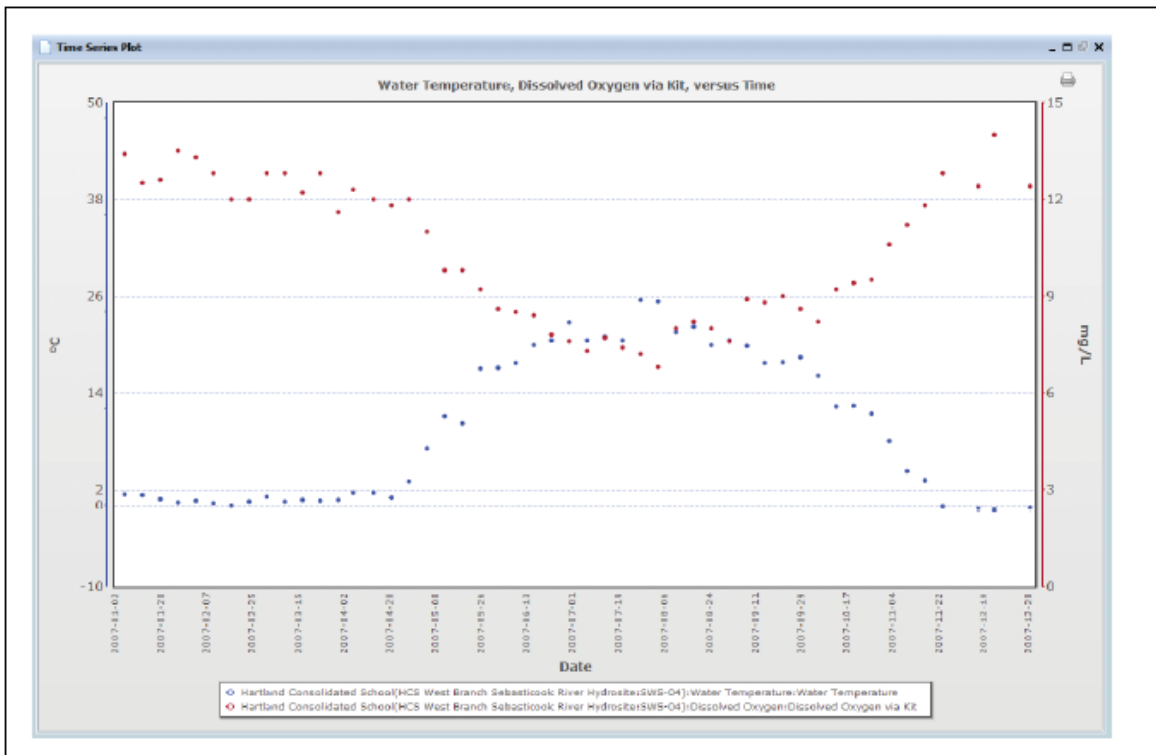





Figura EA-I-19: Temperatura da água na superfície e O<sub>2</sub> dissolvido na Hartland Consolidated School em 2007







, por outro lado, as concentrações de ozônio na superfície no verão são menores porque há menos emissões por combustão do que no Hemisfério Norte. Nos trópicos, as concentrações de ozônio na superfície são geralmente mais altas em setembro e outubro, porque é o momento em que ocorre uma queima generalizada de biomassa e os gases desses incêndios geram ozônio por meio da fotoquímica. Assim, o ciclo sazonal das concentrações de ozônio na superfície é afetado pela atividade humana e é bastante variável, dependendo de onde as observações são feitas.

### Águas Superficiais Durante o Ciclo Sazonal



As características físicas e químicas de um corpo de água são influenciadas pelo ciclo sazonal através de mudanças na radiação solar, precipitação, temperatura do ar, padrões de vento e derretimento de neve e gelo. A Figura EA-I-19 mostra como a temperatura e o oxigênio dissolvido (OD) variam ao longo do ano. O nível de saturação do OD está inversamente relacionado à temperatura (ou seja, à medida que a temperatura aumenta, a quantidade de DO que pode ser dissolvida na água diminui). O padrão observado em qualquer massa de água depende da quantidade de atividade biológica.

#### Alternância Sazonal nos Lagos



Muitos lagos mostram padrões sazonais de mistura vertical. Lagos em zonas temperadas quentes ou temperadas frias mostram um evento de mistura (ou alternância) no ano. Em outras regiões temperadas que atravessam temperaturas de zonas temperadas frias e quentes ou em altas elevações nas regiões subtropicais, há duas rotações. A alternância da primavera ocorre após o gelo derreter. O gelo flutua porque é menos denso que a água, que é mais densa a 4 °C. À medida que a água aquece para perto de 4 °C, a água da superfície pode se tornar mais densa que a água de fundo e afundar. É necessária relativamente pouca energia eólica para misturar todo o lago (alternância da primavera). À medida que a primavera avança, as camadas superiores do lago se tornam mais quentes e, portanto, menos densas. A água mais fria e mais densa permanece no fundo e ocorre uma zona de rápida mudança de temperatura entre a camada mais quente na parte superior e a camada mais fria no fundo. Isso é conhecido como estratificação térmica. No outono, com menos radiação solar atingindo a água e maior perda de

calor da superfície à noite, a estratificação da temperatura se decompõe. Eventualmente, a camada mista se estende para baixo, até que as diferenças de temperatura e densidade entre a água misturada e a água do fundo se tornem tão leves que um vento forte no outono pode superar qualquer resistência à mistura e o lago sofrer uma alternância.


#### Crescimento de plantas em lagos, estuários e oceanos

Alterações sazonais na temperatura da água, luz solar e disponibilidade de nutrientes afetam a vida das plantas nos corpos d'água.

Os nutrientes tendem a cair através da coluna de água, e a mistura vertical geralmente leva os nutrientes para perto da superfície e pode promover um rápido crescimento no fitoplâncton. Os aumentos no crescimento das plantas desencadeiam mudanças em toda a cadeia alimentar e podem resultar em maior crescimento e reprodução animal, além de maior decomposição bacteriana. Nas áreas temperadas, o aumento da temperatura da água e a disponibilidade de luz solar na primavera combinam-se com aumentos sazonais de nutrientes misturados em águas mais profundas para promover um crescimento rápido. Nas áreas tropicais, onde a quantidade de luz solar e a temperatura mudam pouco ao longo do ano, as mudanças nos padrões de vento podem resultar em uma mistura vertical nos oceanos, mares e grandes lagos.

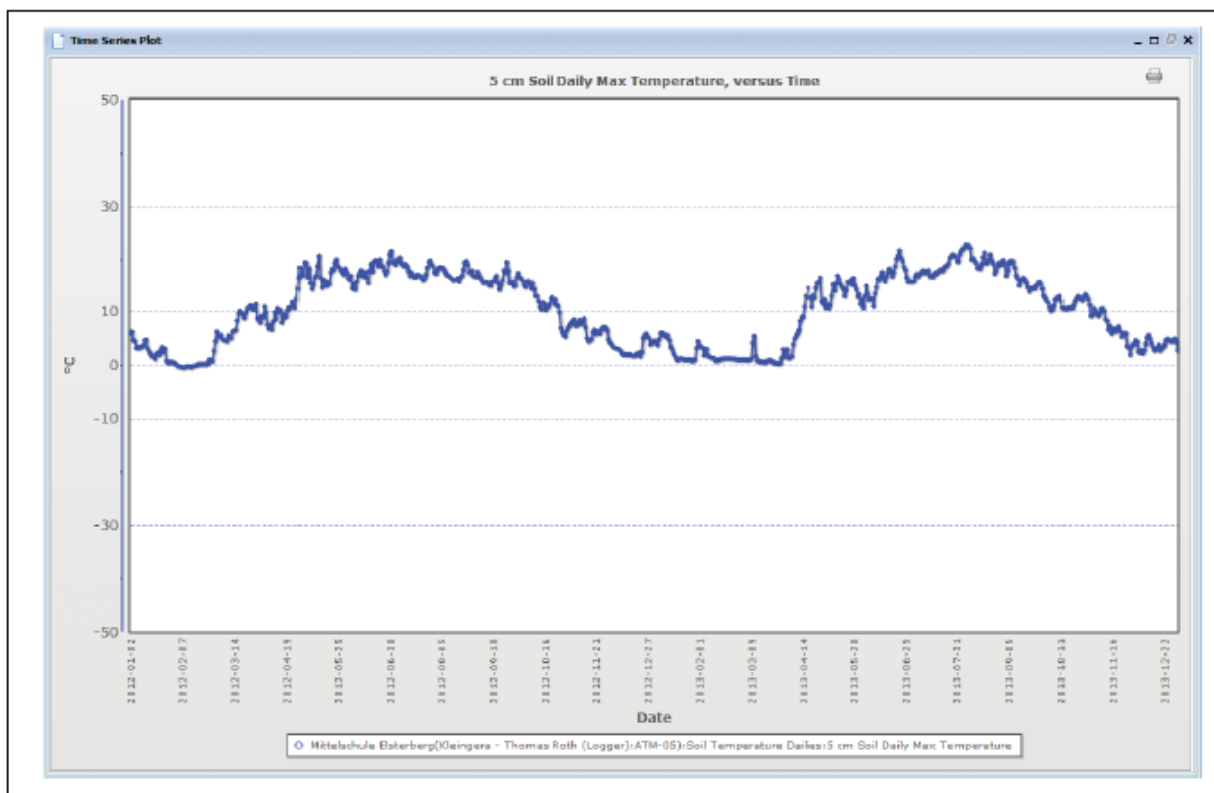
A maior parte da produção da planta ocorre nas águas superficiais e próximas da superfície, onde a luz está disponível para a fotossíntese. Durante os meses de verão, há pouca mistura vertical em alguns lagos e estuários. A matéria orgânica cai da superfície para águas mais profundas e é consumida por animais ou decomposta por bactérias. Esses organismos precisam de oxigênio. Respiração, falta de mistura vertical e temperaturas quentes podem levar a baixos níveis de oxigênio. Em alguns lugares, o verão pode se tornar um período crítico para peixes e outras criaturas que vivem em águas profundas.

#### Córregos e rios



Córregos e rios podem mostrar mudanças sazonais na quantidade e composição da água resultantes de mudanças na precipitação, evaporação, derretimento da neve e escoamento. Como esses fatores afetam a biota são áreas de pesquisa ativa. Os produtos químicos solúveis que se acumularam na neve do inverno tendem a se concentrar na primeira água derretida e

Figura EA-I-20: Ciclo sazonal da temperatura do solo de 5 cm em Mittelschule Elsterberg em Elsterberg, Alemanha, de 1 de janeiro de 2012 a 31 de dezembro de 2013.



podem causar mudanças rápidas (geralmente diminui) no pH dos fluxos. A primeira grande tempestade de chuva após um período seco prolongado também lava produtos químicos que se acumularam nas estradas e outras superfícies terrestres em corpos d'água. O volume de água que flui em um córrego ou rio frequentemente afeta sua qualidade da água. As condições de baixo fluxo podem permitir o acúmulo de nitratos ou o esgotamento do oxigênio dissolvido. Inundações e grandes tempestades de chuva levam grandes quantidades de detritos para as vias navegáveis e podem remodelar toda a planície de inundação de um rio ou córrego, enquanto transportam partículas de solo para novos locais.

### Solo no Ciclo Sazonal

#### Temperatura do Solo

Assim como a atmosfera e os corpos d'água, a mudança sazonal mais óbvia nos solos é a temperatura. À medida que o sol se eleva no céu na primavera, o aumento da radiação solar aquece a superfície, aumentando a temperatura do solo.

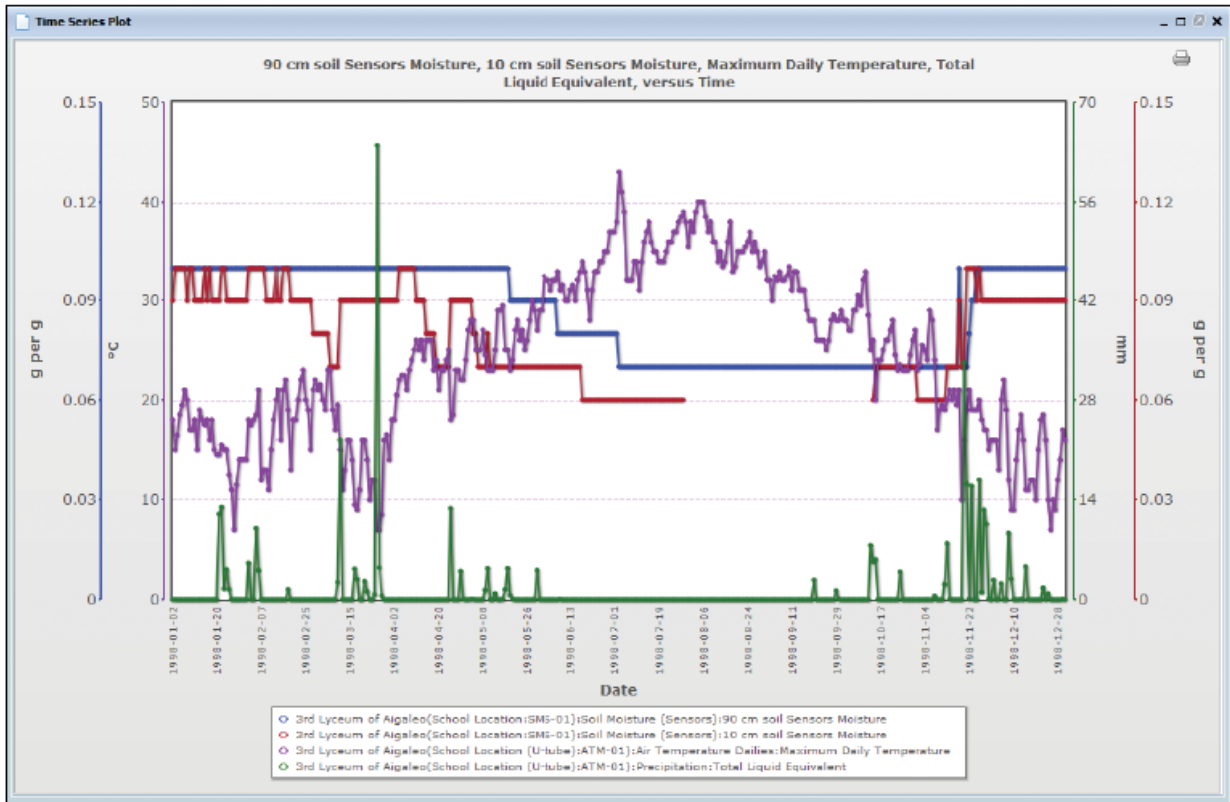
O solo passa por um forte ciclo diário (diurno) e sazonal de temperatura, especialmente em

latitudes médias. Ver Figura EA- I-20. O ciclo do solo fica ligeiramente atrás do ciclo da temperatura do ar, de modo que, em geral, a temperatura do solo é um pouco mais quente que o ar durante a noite e um pouco mais fria que o ar durante a manhã. O tempo de retorno dependerá da distribuição do tamanho das partículas, da quantidade de matéria orgânica e da quantidade de umidade no solo. O ciclo é mais evidente na superfície do solo e diminui com a profundidade. Os cientistas do solo usam a temperatura de 50 cm para definir a Temperatura Média Anual do Solo (MAST), que permanece relativamente constante de ano para ano. Esse ciclo de temperatura nos solos é importante, pois exerce um forte efeito sobre a fenologia, influenciando quando as plantas ficam "esverdeadas" na primavera ou "morrem" no outono. Também afeta o isolamento necessário para os canos enterrados no solo para evitar o congelamento no inverno e é usado para controlar as temperaturas nos porões e áreas de armazenamento abaixo do solo.

#### Umidade do solo

Outra característica do solo que muda ao longo do ciclo sazonal é a umidade do solo. A principal fonte de umidade do solo é a precipitação. A

Figura EA-I-21: Temperatura máxima do ar (roxa), precipitação (verde) e umidade do solo em 10 (vermelho) e 90 (azul) cm no 3º Liceu de Aigaleo em Atenas, Grécia, de 1 de janeiro de 1998 a 31 de dezembro de 1998.





variação sazonal da umidade do solo é controlada pelas variações sazonais da precipitação e do derretimento da neve e pelo efeito das variações sazonais da temperatura por evaporação. Ver Figura EA-I-21. Por exemplo, se a estação chuvosa ocorrer durante o inverno, o teor de água no solo será alto, enquanto o verão será um período de aumento da temperatura, levando a uma maior evaporação e condições mais secas no solo.

### Decomposição

A decomposição de material orgânico também é afetada por mudanças sazonais. Os microrganismos que executam o processo de decomposição requerem umidade e calor para prosperar. Assim, a taxa de decomposição do material orgânico depende da temperatura e umidade do solo. Tudo isso varia ao longo do ciclo sazonal e, portanto, há um ciclo sazonal na taxa de decomposição do material orgânico. Esse ciclo sazonal pode não ser tão simples quanto o exibido pela temperatura e umidade. Isso ocorre porque os microrganismos do solo podem morrer ou ficar inativos quando as condições são muito quentes, muito frias, secas demais ou completamente saturadas. Em geral, quanto mais decomposição, mais CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O são produzidos e trocadas na atmosfera.

### Cobertura do Solo e Fenologia através do Ciclo Sazonal

Fenologia é o estudo da resposta dos organismos vivos às mudanças sazonais e climáticas no ambiente em que vivem. As medições do GLOBE nos protocolos de Fenologia (este capítulo) se concentram na fenologia das plantas. As mudanças sazonais incluem variações na duração do dia ou na duração da luz solar, precipitação, temperatura e outros fatores de controle da vida. A estação de crescimento da planta é o período entre o esverdeamento e

Figura EA-I-22: A duração da estação de crescimento

define que tipo de plantas podem crescer em um local específico.

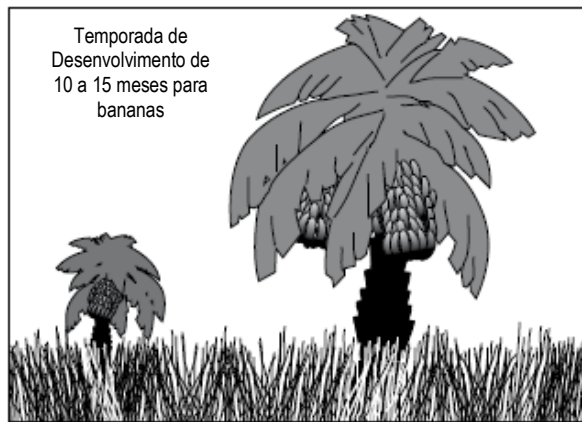
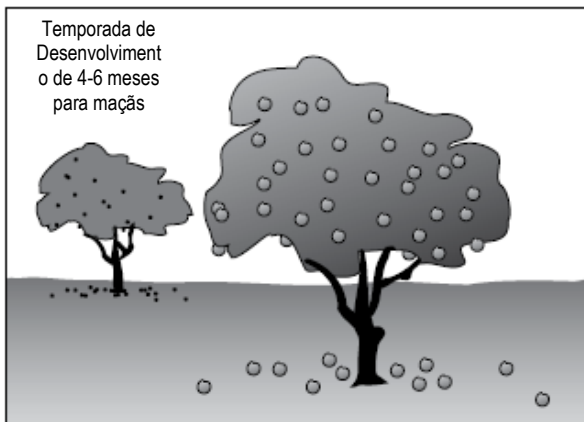
e senescência. Ver Figura EA-I-22. O esverdeamento e senescência podem ser usados para examinar padrões regionais e globais de vegetação, variação interanual e respostas da vegetação às mudanças climáticas. Uma mudança no período entre esverdeamento e senescência pode ser uma indicação da mudança climática global.

O esverdeamento das plantas iniciado quando a dormência (um estado de crescimento e metabolismo suspensos) é interrompida por condições ambientais, como horas mais longas de luz solar e temperaturas mais altas em regiões temperadas ou chuvas e temperaturas mais baixas em áreas desérticas. À medida que as plantas começam a esverdear, a clorofila das folhas absorve a luz solar para a fotossíntese. A fotossíntese fixa o dióxido de carbono da atmosfera.

Com o início do processo de esverdeamento, as plantas também começam a transpirar a água do solo para a atmosfera. Isso afeta a temperatura atmosférica, a umidade e a umidade do solo. Durante o período de senescência, através da queda de folhas, as plantas reduzem a perda de água quando o suprimento de água é bastante limitado durante os invernos para plantas temperadas e durante períodos secos para plantas do deserto.

O monitoramento da duração da estação de crescimento é importante para a sociedade, pois a duração da estação de cultivo afeta diretamente a produção de alimentos e fibras e, portanto, a capacidade da sociedade de se sustentar. Portanto, ao investigar essa variação sazonal, as escolas GLOBE estão fornecendo informações aos cientistas para que eles possam entender melhor o sistema da Terra e como ele responde a várias influências e à sociedade, para que ele possa estar melhor preparado para se adaptar às variações no comprimento de a estação de crescimento.

define que tipo de plantas podem crescer em um local específico.



# O Sistema Terrestre em Diferentes Escalas Espaciais

## A Terra como um Sistema na Escala Local

### Componentes

Cada uma das investigações do GLOBE exige que os alunos escolham um local de estudo ou um conjunto de locais de amostra onde farão suas medições. Em cada um desses locais, muitos dos componentes do sistema Terra investigados pelos alunos do GLOBE estão presentes. No local do estudo de hidrologia, por exemplo, ar, solo e um corpo de água estão presentes. A vegetação terrestre também costuma estar presente e, em vários locais, a neve ou o gelo - elementos da criosfera - estão presentes pelo menos em parte do ano. Figura EA-I-23 é uma fotografia do local do estudo de hidrologia em Reynolds Jr. Sr. High School, em Greenville, Pensilvânia, EUA, onde os alunos podem identificar cada um desses componentes e examinar onde as interações entre os componentes ocorrem.

Alguns exemplos dessas interações são:

- Evaporação e troca de calor entre o ar e a água.
- Trocas de água e gases entre o ar e a vegetação.
- Trocas de água e nutrientes entre o solo e os sistemas radiculares de gramíneas e árvores.
- Evaporação e troca de calor e gases entre o ar e solo.
- Trocas de água, produtos químicos e sedimentos entre o solo e a água nas laterais e no fundo de um corpo d'água.
- Todos os componentes do sistema Terra são expostos à luz solar.

Essa exposição à luz solar afeta as temperaturas dos vários componentes, a fotossíntese nas plantas, as taxas de decomposição nos solos e os ciclos químicos.

### Ciclos: Energia, Hidrologia e Biogeoquímica

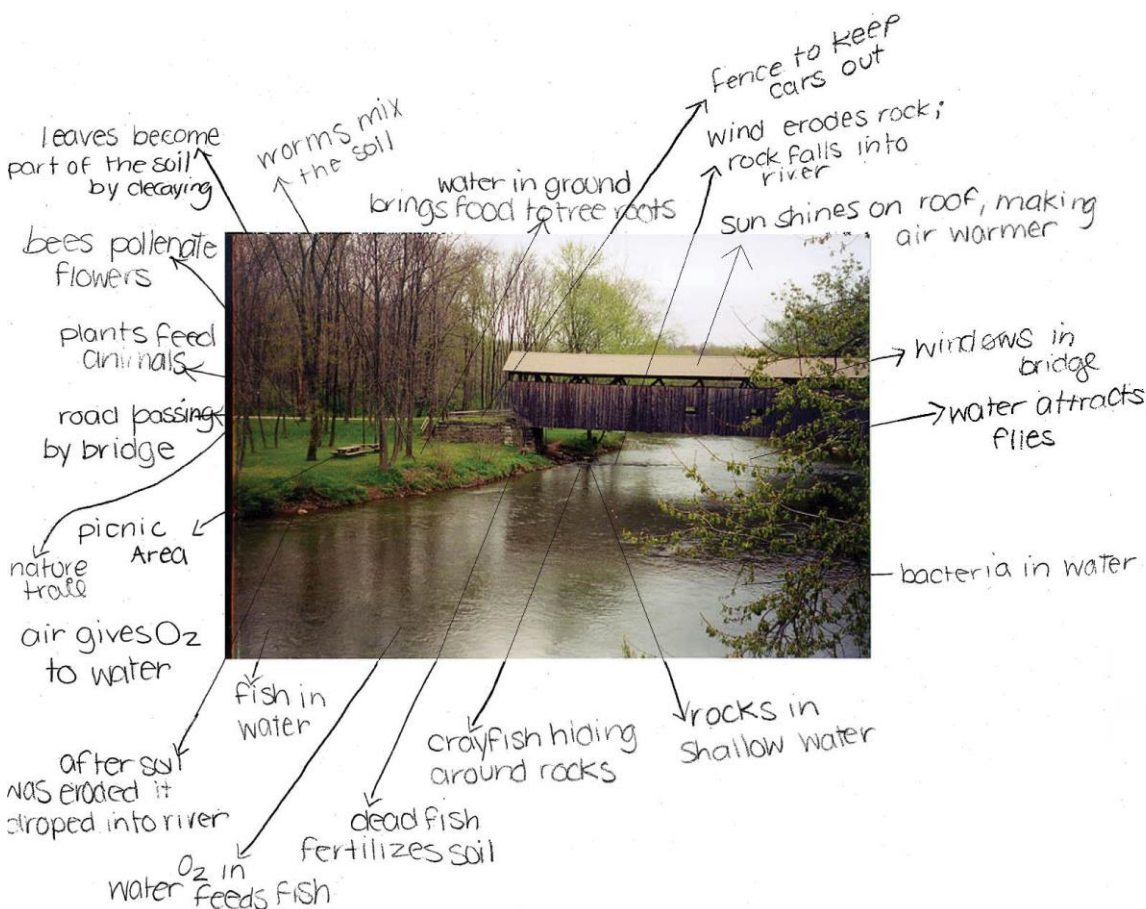
As trocas entre o ar, a água, o solo e a vegetação terrestre fazem parte do ciclo energético, do ciclo hidrológico e dos vários ciclos biogeoquímicos. Como exemplo, vamos considerar como a energia e a água circulam neste local (Reynolds Jr. Sr. High School) e discutir o pH, que influencia os ciclos biogeoquímicos.

A luz do sol atinge a superfície do rio, bem como as árvores, a grama e o asfalto na margem. Parte da energia da luz solar aquece a água e a superfície da terra, elevando a temperatura da superfície do solo e da água. A energia restante é refletida de volta na atmosfera. Dependendo da cobertura de nuvens, parte dessa energia pode ser refletida novamente em direção à superfície. A água do rio e do solo evapora, esfriando a superfície e levando energia para a atmosfera. Quando a temperatura do ar é mais baixa que a da superfície, o ar é aquecido pelo contato com a terra e a água. Quando o inverso é verdadeiro, a terra e a água são aquecidas pelo contato com o ar. À medida que o solo esquenta, a energia é armazenada nele. À medida que o rio flui, ele leva toda a energia armazenada pelo aquecimento da água. Da mesma forma, o ar traz energia com ele ou transporta energia. A precipitação pode ser mais quente ou mais fria que a superfície, e a troca de energia entre a chuva ou a neve e a superfície também fornecerá aquecimento ou resfriamento.

As medições do GLOBE permitem rastrear parte do fluxo e armazenamento de energia. As principais medições são as temperaturas do ar, da água superficial e do solo. Com estes você pode calcular a troca direta de energia entre a atmosfera e a superfície. As medições de temperatura, umidade do solo e umidade relativa permitem o cálculo das taxas de evaporação da superfície da terra e da água. Você pode comparar a quantidade de energia perdida da superfície por evaporação com a troca direta de calor com a atmosfera e determinar em que momentos um é mais significativo que o outro.

No ciclo hidrológico, a água é trocada entre a vegetação do ar, rio, solo e terra. Precipitação se forma na atmosfera e

Figura EA-I-23: Fotografia do local do estudo de hidrologia em Reynolds Jr. Sr. Green School, em Greenville, Pensilvânia, EUA, anotado com várias interações entre componentes do sistema Terra.



então cai sobre a superfície - a água, o solo, as plantas e o pavimento. A água escorre da calçada e entra no solo. Alguns fluem através da superfície ou através do solo para o rio. As várias gramíneas e árvores absorvem a água através de suas raízes e perdem essa água para a atmosfera através de suas folhas. Alguma água evapora do solo e da superfície do rio. Se a superfície estiver mais fria que o ponto de orvalho do ar, a umidade da atmosfera se condensará diretamente na superfície. A água também flui para o local a montante e sobe a colina e flui a jusante, fora do local, no rio.

As medições de precipitação do GLOBE capturam a maioria das entradas de água da atmosfera. O fluxo de água no rio pode ser calculado se você souber a inclinação do leito do rio, o perfil de profundidade ao longo do rio e o nível da água. Alguns locais de estudo de hidrologia estão localizados em rios onde o fluxo é monitorado por agências governamentais, e esses dados de descarga podem ser obtidos em

bancos de dados públicos. O armazenamento de água no solo pode ser calculado medindo a porosidade e a umidade do solo. As taxas de evaporação podem ser calculadas medindo a umidade relativa e as temperaturas do ar e da superfície. Você pode ver como a umidade do solo responde à precipitação e também aos períodos de seca. Você pode estudar se o nível do rio é influenciado por insumos locais ou principalmente controlado pelo que acontece a montante.

A composição química da precipitação pode alterar a composição da água do rio e do solo e afetar a vida vegetal e animal. Também pode afetar a taxa de decomposição de material orgânico no solo e de rochas e minerais no leito do rio. O pH da precipitação é determinado pelos gases e partículas que se dissolvem nas gotas de chuva e flocos de neve. O dióxido de carbono no ar tende a dar à precipitação um pH de cerca de 5,6, enquanto outros constituintes movem esse número para cima ou para baixo. A maioria dos

gases relacionados à combustão diminuí o pH, enquanto as partículas alcalinas do solo transportadas pelo ar aumentam o pH. A química está acontecendo no solo e na água do rio também. Se a alcalinidade de qualquer um for alta, o pH não responderá significativamente aos diferentes pH da precipitação, mas se for baixo, o pH mudará. Com o tempo, o pH do solo pode mudar devido aos efeitos cumulativos da precipitação. Por fim, o pH do rio reflete o pH do solo circundante, da precipitação e da água a montante.

As medições do pH da precipitação, dos horizontes do solo e das águas superficiais e da alcalinidade da água superficial do GLOBE permitem examinar a questão de como o pH do rio responde a eventos de precipitação e inundações. Com o tempo, o conjunto de dados de uma escola pode mostrar alterações no pH do solo. As variações de pH através do perfil do solo também podem ilustrar como o pH está mudando.

Os ciclos biogeoquímicos também promovem trocas entre os diferentes componentes do sistema Terrestre. Exemplos dessas trocas incluem:

#### **Trocas entre ar e água:**

- transferência de oxigênio, dióxido de carbono, nitrogênio, vapor de água (por evaporação) e outros gases

#### **Trocas entre água e solo:**

- **armazenamento de água no solo**
- **percolação da água através do solo para os corpos d'água ou lençóis freáticos transportando produtos químicos e partículas**
- **escoamento de partículas.**

#### **Trocas entre solo e cobertura do solo:**

- uso da água armazenada no solo pelas raízes da cobertura da terra
- uso de nutrientes armazenados no solo
- substrato para plantas
- armazenamento de calor para plantas e microorganismos
- espaços aéreos para troca de oxigênio e dióxido de carbono durante a respiração e a fotossíntese
- Trocas entre solo e cobertura da terra:
- processo de evapotranspiração. Trocas entre ar e solo:
- processos de precipitação e evaporação
- transferência de calor e energia
- trocas de gases produzidos no processo de decomposição de material orgânico e respiração microbiana.

As taxas de trocas de produtos químicos entre os diferentes componentes do sistema Terrestre dependem de vários fatores. Esses fatores incluem o tipo de reações químicas que ocorrem nos diferentes componentes, a temperatura dos componentes, as concentrações dos vários gases em cada um dos componentes e o movimento dos componentes na interface que promove a troca.

### **A Terra como um Sistema na Escala Regional**

Os processos que permitem que os componentes do sistema Terrestre interajam em escala local, como um local de estudo de hidrologia, também podem atuar em escala regional. Ver Figura EA-I-24.

O que Define uma Região?

A escala regional é maior que a escala local e geralmente é caracterizada por algum recurso ou recursos comuns que o diferenciam das regiões vizinhas. As regiões podem ser definidas de maneiras diferentes.



Eles podem ter limites naturais, feitos pelo homem ou políticos/sociais. Alguns exemplos de regiões são:

#### Natural

- uma bacia hidrográfica
- uma cordilheira
- uma bacia hidrográfica
- um deserto
- uma planície
- uma península

#### Fronteiras feitas pelo homem

- uma bacia hidrográfica na qual um limite é uma barragem
- uma área maior que um local de estudo local delimitado por rodovias, ferrovias e pontes.
- uma área natural cercada por regiões povoadas ou uma região povoada cercada por uma área natural
- um parque ou uma reserva de caça

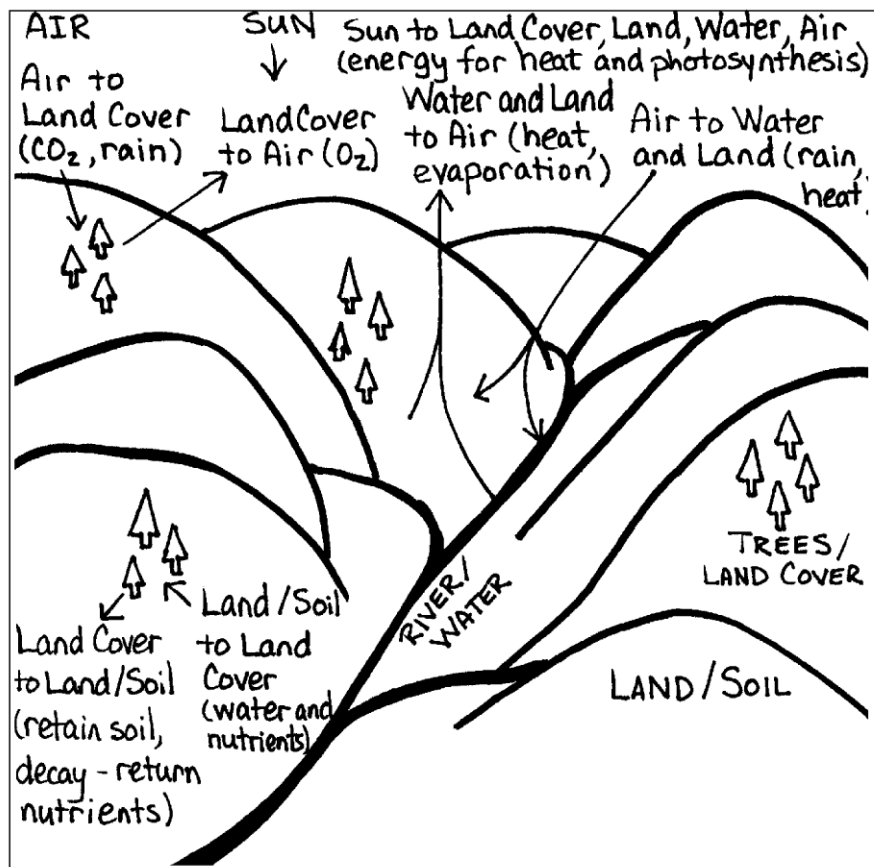
#### Fronteiras políticas/sociais

- um estado ou província
- um país

Muitos dos processos que causam as interações entre os diferentes componentes do sistema Terra na escala regional são os mesmos da escala local. No entanto, para quantificar a magnitude dos processos, geralmente são necessárias medições em vários locais da região. Por exemplo, se alguém deseja estudar o efeito da ilha de calor urbana, são necessárias medições de temperatura na área urbana e na paisagem circundante. Além disso, as temperaturas diferem entre as áreas com gramados, plantas e árvores e aquelas que são quase completamente cobertas por edifícios e pavimentos; o que é observado em uma área principalmente residencial pode diferir daquela em uma área comercial ou industrial. Portanto, para obter uma melhor representação de toda a área urbana, são necessárias medições de vários locais em diferentes seções do ambiente urbano.

Da mesma forma, suponha que você deseje desenvolver um modelo hidrológico para uma bacia hidrográfica de um rio.

Figura EA-I-24: Diagrama do Sistema Terrestre em Escala Regional Indicando Interações Entre os Diferentes Componentes



que deságua em um estuário ao longo da costa e as únicas escolas GLOBE na bacia hidrográfica estão próximas à foz do rio (onde entra no estuário). O uso somente desses dados para toda a bacia hidrográfica pode levar a imprecisões, porque temperatura, precipitação, tipos e texturas do solo e cobertura do solo, entre outras coisas, podem diferir bastante em toda a bacia hidrográfica. As medições devem cobrir mais da bacia hidrográfica para fornecer um modelo preciso. A falta de cobertura espacial para muitos dados é um problema que os cientistas frequentemente enfrentam. Às vezes, uma aproximação grosseira é a melhor que um cientista pode fazer com dados limitados. Portanto, quanto mais escolas GLOBE coletarem dados, melhor!

#### Entradas e Saídas

Para compreender o sistema Terrestre na escala regional, você deve considerar as entradas e saídas da região, além das interações entre os componentes da região. Ver Figura EA-I-25 A região pode estar um pouco fechada no sentido de que a água líquida pode não deixá-la, ou pode estar aberta com rios fluindo através dela. A atmosfera sempre estará trazendo entradas do exterior e levando as saídas para longe; incluem energia, vapor de água, vestígios químicos e aerossóis. O ar em movimento também traz sistemas climáticos para dentro e fora da sua região, o que afetará a temperatura do ar, a cobertura de nuvens e a precipitação.

Entradas e saídas atmosféricas podem afetar bastante uma região. O ar que entra na sua região trará consigo características do vento. Essas características podem incluir fumaça de uma planta industrial ou queima agrícola, sementes de uma floresta ou pastagem ou umidade evaporada de lagos ou rios. O impacto dessas características em sua região deve ser considerado. Da mesma forma, o que deixa sua região na atmosfera influenciará outras regiões. À medida que a atmosfera se move, ela carrega gases vestigiais de uma região onde são produzidos para locais onde não existem fontes locais desses produtos químicos. Os piores exemplos de poluição do ar acontecem quando o ar fica preso, geralmente por montanhas ou por uma camada de inversão (uma camada de ar na qual a temperatura aumenta à medida que você se move de baixo para cima) na atmosfera. Os ventos também podem transportar quantidades significativas de umidade e poeira de uma região. Plumas de

poeira saariana são tão proeminentes às vezes que podem ser vistas em imagens de nuvens de satélite e a poeira é soprada por todo o Oceano Atlântico.

As escolas GLOBE de uma região podem cooperar para obter uma imagem abrangente dos ciclos de energia e água na região e rastrear algumas partes dos ciclos biogeoquímicos. Em uma bacia hidrográfica, as características medidas nas águas superficiais de córregos, lagos e rios podem ser medidas em uma variedade de locais. Essas características são fortemente influenciadas pelo microclima da região quantificado por medições de temperatura e precipitação do ar, o caráter do solo que pode variar ao longo da bacia hidrográfica e precisa ser medido em vários locais e a cobertura da terra. As escolas podem combinar suas imagens do Landsat para obter uma imagem completa de satélite da região e isso pode se tornar a base para um mapa regional abrangente da cobertura da terra. A dinâmica da bacia hidrográfica pode ser estudada usando medições GLOBE de eventos climáticos específicos, umidade do solo e taxas de infiltração e quaisquer dados disponíveis sobre as taxas de fluxo dos córregos e rios.

#### Terra como um Sistema na Escala Continental / Global

As atividades de aprendizagem deste capítulo, projetadas para ajudar seus alunos a compreender as maiores escalas espaciais do sistema Terrestre, se concentram na escala continental. Essa é a maior escala prática para o exame significativo dos dados do GLOBE, embora possa ser considerada a maior escala regional. A escala global abrange toda a Terra, toda a atmosfera, hidrosfera, pedosfera, criosfera e biosfera. Se incluirmos também o interior do planeta, nessa escala, a Terra é um sistema quase fechado - um sistema em que quase nenhuma matéria entra ou sai. **Nota:** Um sistema isolado é aquele em que nenhuma energia ou matéria entra ou sai. Ver Figura EA-I-26. De fato, o sistema Terrestre está fechado, exceto pela entrada de energia do sol, a perda equilibrada de energia no espaço, a perda extremamente pequena de hidrogênio do topo da atmosfera e a entrada contínua de gases, poeira e meteoritos do espaço e os poucos satélites que enviamos além da órbita da Terra. Os estudos da ciência do sistema Terrestre também tratam a

Figura EA-I-25: Fotografia do Sistema Terra na Escala Regional com Entradas e Saídas



© Weldon Owen Inc. 1998 Over California por Kevin Starr. Fotografia por Reg Morrison





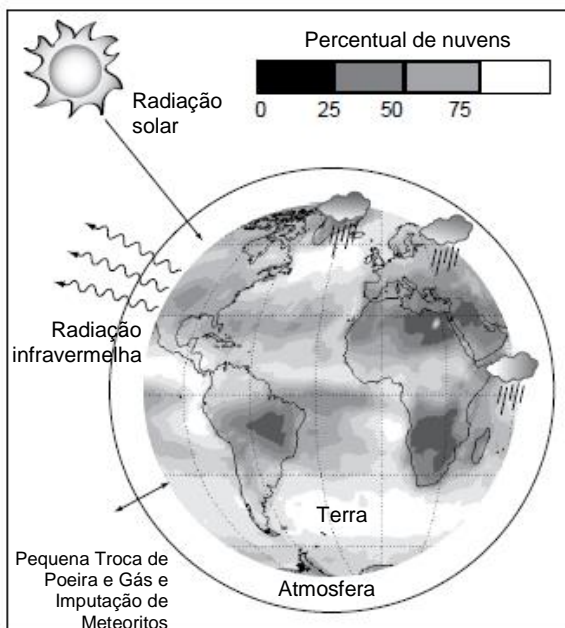
entradas de gases, energia, poeira e lava do interior da Terra e a reciclagem de material na crosta e no manto superior como entradas externas e saídas de um sistema quase fechado. Essas trocas com o interior do planeta tendem a ocorrer em longas escalas de dezenas de milhares a milhões de anos (tempo geológico) ou a ocorrer quase instantaneamente e imprevisivelmente. Esses últimos fenômenos, particularmente grandes erupções vulcânicas, causam estragos nas previsões climáticas de curto prazo.

### Como as Escalas Local, Regional e Global Interagem?

No sistema global da Terra, as escalas local e regional contribuem para a maneira como cada um dos componentes (atmosfera, águas abertas, criosfera, solo e vegetação terrestre) interage entre si como um todo em escala global. Essas interações ocorrem em muitas escalas de tempo diferentes - os tempos característicos sobre os quais ocorrem processos ou eventos.

Todas as medições do GLOBE são feitas na escala local, mas elas amostram fenômenos com várias escalas de tempo. As temperaturas máximas e mínimas do ar abordam a escala de tempo diária, enquanto a altura e a circunferência das árvores indicam crescimento ao longo de um ciclo

Figura EA-I-26: Diagrama da Terra como um Sistema Quase Fechado



anual e a caracterização de um perfil de solo pode documentar os resultados de milhares de anos. A maioria das atividades de aprendizagem também envolve a escala local e escalas de tempo mais curtas. No entanto, algumas das atividades de aprendizado, como as deste capítulo, ampliam sua perspectiva para as escalas regional e global para ajudá-lo a entender como os ambientes em escala local se encaixam nos contextos regional e global. Essas grandes escalas envolvem alterações em períodos longos e curtos. Atualmente, as medições do GLOBE cobrem apenas alguns anos e contribuem principalmente para estudos dos processos e fenômenos atuais. Eventualmente, à medida que o banco de dados do GLOBE se estende ainda mais no tempo, as medições contribuirão para estudos científicos em escalas de tempo mais longas, de décadas a séculos, onde atualmente existem grandes preocupações sobre as mudanças climáticas globais.

As seções a seguir descrevem os vários componentes do sistema Terra no contexto da escala global. A compreensão desses maiores processos em escala espacial o ajudará a entender melhor o contexto dos locais de estudo locais e como o sistema Terrestre nos conecta a todos.

### Os Componentes do Sistema Terrestre em escala global: A Atmosfera (Ar)

A atmosfera é o envelope gasoso da Terra. As propriedades locais da atmosfera mais baixa variam em escalas de tempo de minutos a estações e anos. Os ventos mudam de velocidade e direção, as nuvens se formam e se dissipam, a precipitação cai, a umidade vai e vem, alguns vestígios de gases como o ozônio se acumulam e depois desaparecem, e a temperatura do ar aumenta e diminui. Essas variações locais são causadas pelos ciclos diários e anuais da luz solar e algumas mudanças na circulação oceânica, como a Oscilação El Niño / Sul. A estrutura e composição geral da atmosfera e o clima mudam mais lentamente, em escalas de tempo que variam de uma década a milhões de anos.

Conforme ilustrado na Figura EA-I-6 os trópicos recebem mais energia do sol por unidade de área de superfície do que as zonas temperadas ou polares. De fato, embora os trópicos mais quentes irradiem mais calor para o espaço do que as regiões de alta latitude, os trópicos recebem mais energia do sol do que irradiam para longe! Para onde vai esse excesso de energia? A circulação da atmosfera e dos oceanos leva essa energia, na forma de calor,

para latitudes mais altas.

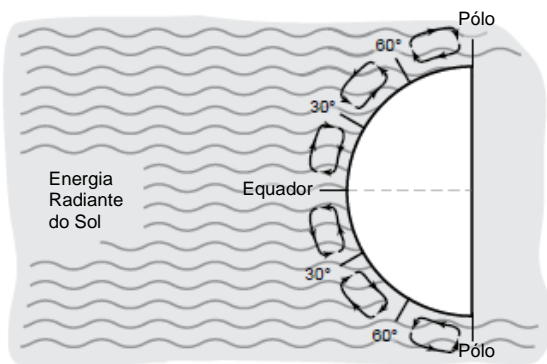
Se considerarmos o movimento norte-sul médio da atmosfera, o ar quente próximo ao equador sobe e se move em direção aos pólos. Aproximadamente 30° de latitude, o ar esfria, desce e move-se equatorialmente perto da superfície. Existe um padrão semelhante nas zonas polares, com o ar subindo aproximadamente a 60° de latitude e caindo nos pólos. As zonas tropicais e polares abrangem as zonas temperadas e controlam seus padrões de circulação. Como resultado, o ar nas zonas temperadas se move em direção ao pólo em baixas altitudes, sobe aproximadamente a 60°, retorna equatorialmente no alto e cai a aproximadamente 30°. A interação de massas de ar quente e frio entre 30° e 60° de latitude produz a sucessão de sistemas de baixa pressão (tempestade) e alta (tempo bom) que se movem de oeste para leste em latitudes médias. Ver Figura EA-I-27.

Os Componentes do Sistema Terrestre em escala global: A Hidrosfera (Corpos de Água)

A hidrosfera abrange todos os corpos de água na Terra, incluindo as lençóis freáticos. Na escala global, são os oceanos e os mares maiores que são importantes. As escalas de tempo nas quais os oceanos variam variam de um mês perto da superfície a mais de mil anos para a circulação oceânica profunda.

O oceano recebe energia da luz solar transmitida pela atmosfera. O albedo dos oceanos é relativamente baixo, cerca de 0,1, o que significa que 90% da radiação solar que cai na superfície do oceano é absorvida. Os oceanos também trocam radiação de ondas longas (infravermelho térmico) com a atmosfera.

Figura EA-I-27 Padrões Gerais de Circulação Atmosférica



## Circulação Oceânica

A circulação nos oceanos ocorre através de dois processos básicos. A primeira é a circulação horizontal do alto oceano, que é impulsionada por forças induzidas pelos ventos da superfície. Essa circulação superficial é acoplada à circulação oceânica profunda (termohalina), causada por diferenças na densidade da água do mar devido a mudanças de temperatura e salinidade. Durante o inverno nas regiões polares, a superfície do oceano esfria e forma gelo Marítimo. À medida que a água congela, a maior parte do sal é deixada dissolvida na água líquida. Esse aumento na salinidade, particularmente no Atlântico Norte, faz com que a água da superfície se torne densa o suficiente para afundar e se tornar água de fundo. Essa água de fundo flui em direção ao equador e, eventualmente, retorna à superfície. Os cientistas chamam essa circulação global de águas oceânicas de correia transportadora que conecta a superfície e as águas profundas dos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico. Ver Figura EA-I-28.

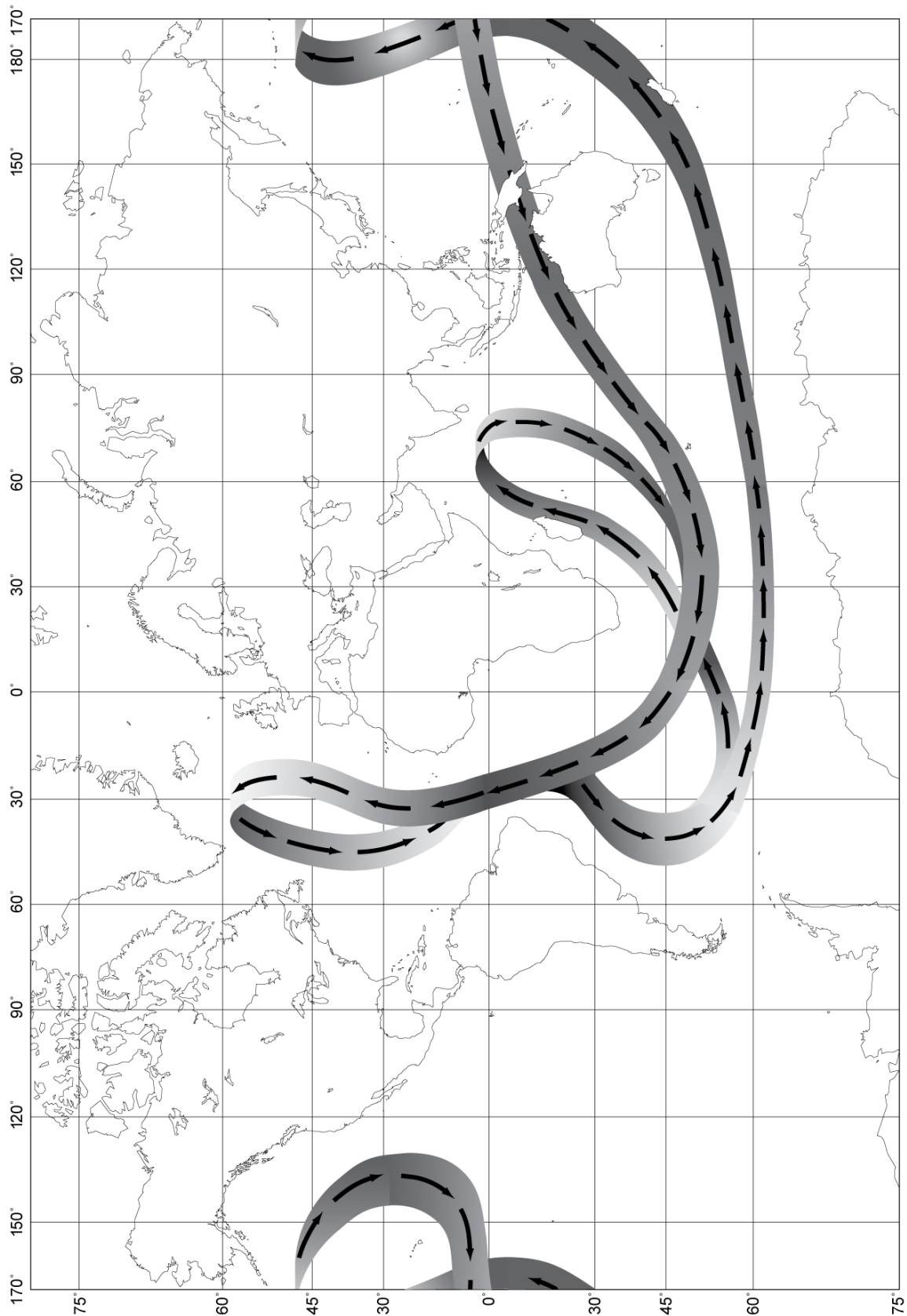
A superfície do oceano está em contato direto com a atmosfera. Grandes trocas de aerossóis e gases ocorrem nesse limite. Gases mais abundantes na atmosfera, como dióxido de carbono, são absorvidos pela água do oceano, enquanto gases formados nos oceanos, como o brometo de metila, são liberados no ar e são as maiores fontes naturais de alguns vestígios de gases atmosféricos. Esses processos acontecem muito mais rapidamente que a circulação termohalina dos oceanos. A água do mar da superfície atual está em equilíbrio com a composição atual da atmosfera, mas os gases dissolvidos na água do fundo refletem as condições atmosféricas de aproximadamente 1500 anos atrás. Com essa alternância gradual da água do oceano, gases como o dióxido de carbono, cuja concentração atmosférica aumentou nos últimos 1500 anos, são gradualmente absorvidos pelo oceano, diminuindo sua abundância no ar.

## Atividade Biológica

A atividade biológica também é afetada pelos padrões de circulação em todo o mundo. Há áreas, por exemplo, onde ocorre ressurgência. A ressurgência é o processo pelo qual as águas profundas, frias e ricas em nutrientes chegam à superfície. Plantas de fitoplâncton que flutuam na água formam a base da cadeia alimentar oceânica e sua abundância limita as populações da maioria das outras criaturas oceânicas. Onde o oceano



Figura EA-I-28: A Circulação em Larga Escala da Água nos Oceanos do Mundo, às vezes Chamada de Correia Transportadora Global





as águas superficiais carecem de nutrientes, o crescimento e a reprodução do fitoplâncton são limitados. As áreas onde ocorre ressurgência geralmente são ricas em nutrientes e altamente produtivas e possuem grandes pescarias comerciais.

A atividade biológica nos oceanos desempenha um papel importante no ciclo global do carbono. O fitoplâncton em águas próximas da superfície absorve carbono através da fotossíntese. Algumas matérias orgânicas mortas, como conchas de organismos microscópicos ou pellets fecais de animais, caem pela coluna de água até o fundo do oceano e fica enterrada em sedimentos. Aqui no fundo do oceano, o carbono na matéria orgânica é essencialmente removido da atmosfera.

Os Componentes do Sistema Terrestre em escala global: A Criosfera (Gelo)

### O Papel da Criosfera na Transferência de Energia

A criosfera é o componente de água sólida do sistema Terrestre. As duas principais formas de gelo são gelo Marítimo e gelo continental. Qualquer um pode ser coberto de neve. O gelo tem um albedo (refletividade) que varia de cerca de 0,5 a 0,8. Geralmente é mais alto do que o que está por baixo. O albedo de neve recém-caída varia ainda mais, até 0,9. Então, onde coberta de gelo, a superfície da Terra reflete mais da metade da radiação solar que volta a cair sobre o espaço. Gelo e neve também isolam a superfície da Terra, cortando a evaporação que remove uma importante fonte de calor da atmosfera acima.

### Gelo Marítimo

O gelo do mar é água do mar congelada. Se a água é salgada, como no oceano e nos mares, durante o processo de congelamento, o sal é deixado na água, tornando a água mais salgada e densa, e o gelo Marítimo menos salgado. O gelo do mar flutua na superfície do oceano/mar e varia de gelo fino e frágil, que acaba de formar e mal cobre a superfície, a gelo espesso, que dura muitos anos e pode ter até 10 m de espessura. No entanto, a espessura média do gelo é de 3 metros no Ártico e 1,5 metro ao redor da Antártica. Sob o estresse das correntes de vento e oceânicas, o gelo Marítimo racha e se move. As rachaduras expõem áreas de água do oceano relativamente quente à atmosfera fria durante o inverno. No inverno, isso permite uma grande troca de energia dos oceanos de alta latitude,

onde a temperatura da água está quase congelando na atmosfera onde as temperaturas do ar estão bem abaixo de zero.

O gelo do mar tem um grande ciclo sazonal e muda nas escalas de tempo de algumas semanas a alguns meses. A magnitude dessas mudanças sazonais é muito sensível às condições climáticas da atmosfera e dos oceanos, estendendo as escalas de tempo associadas às variações de gelo do mar de meses para dezenas de milhares de anos - a escala de tempo para as eras glaciais.

### Gelo Terrestre

O gelo continental inclui camadas de gelo como as da Antártica (com até 4 km de espessura) e da Groenlândia (com até 3 km de espessura) e geleiras do vale (geralmente com 10 a 100 m de espessura). A maior parte da água doce da Terra é congelada nessas camadas de gelo. O gelo continental é formado a partir da neve acumulada na superfície e comprimida ao longo do tempo no gelo. Esse processo é muito lento comparado às mudanças no gelo do mar. As camadas de gelo mudam em escalas de tempo que variam de meses (para geleiras de vale em movimento rápido) a dezenas de milhares de anos. Essas mudanças mais longas estão associadas às eras glaciais.

Mesmo quando congelada, a água ainda flui das montanhas para os oceanos. Quando a neve cai no inverno, derrete na primavera, escorre para um riacho de montanha, flui para um riacho e depois para um rio e, finalmente, para o oceano, a jornada da água é concluída em um ano ou menos. Quando a neve cai em uma geleira, a jornada se torna muito mais longa e dura por muitos anos. As camadas profundas da camada de gelo da Groenlândia, que foram amostradas com núcleos de gelo, registram condições quando a neve caiu mais de 250.000 anos atrás e são uma importante fonte de informações sobre mudanças no clima a longo prazo.

Os Componentes do Sistema Terrestre em escala global: A Pedosfera (Solo)

A pedosfera é a porção da superfície terrestre da Terra coberta por camadas de matéria orgânica e rochas e minerais intemperizados com tamanho inferior a 2,0 mm, juntamente com os organismos que vivem nessas camadas. A temperatura da superfície da pedosfera responde rapidamente aos ciclos diários e sazonais da temperatura do ar, alterando as escalas de tempo que variam de horas a meses. O albedo do solo nu é em média de 0,3, o que significa que 70% da radiação solar



que cai sobre ele são absorvidos. No entanto, existem muitos tipos diferentes de solo, portanto esse número varia de um lugar para outro e de estação para estação. A superfície terrestre é frequentemente coberta por vegetação que intercepta a luz do sol antes que ela atinja o solo.

Assim como a atmosfera e o oceano, existem movimentos dentro da pedosfera e da litosfera que agem para redistribuir a energia recebida do sol. Os processos de condução, convecção e radiação operam no solo para redistribuir energia dentro do perfil do solo. A taxa e a quantidade de distribuição dependem das propriedades do solo, como distribuição de tamanho de partícula, densidade aparente, conteúdo de água e conteúdo de matéria orgânica.

A pedosfera se forma como resultado da interação dos cinco fatores formadores do solo: material original (o mineral ou antigo material vivo do qual o solo é derivado), clima (macro e microclima), topografia (incluindo declive, posição e aspecto), biota (plantas, animais, incluindo seres humanos e todos os outros organismos) e a quantidade de tempo durante a qual cada um dos outros fatores interagiu. Quatro processos principais ocorrem em resposta aos fatores de formação do solo: adições, perdas, transferências e transformações. Os processos de adição incluem insumos como calor e energia, água, nutrientes, matéria orgânica ou depósitos de materiais. Perdas de energia e calor, água, nutrientes da captação ou lixiviação de plantas e erosão do material do solo também ocorrem. As transferências ocorrem quando materiais no solo, como água, argila, ferro, nutrientes de plantas ou matéria orgânica, são movidos de um horizonte para outro. Por fim, as transformações incluem a mudança de constituintes do solo de uma forma para outra dentro do solo, como água líquida para gelo, partículas grandes para partículas menores, matéria orgânica para húmus e ferro oxidado para ferro reduzido. Cada um dos cinco fatores e os quatro processos correspondentes produzem um perfil localizado do solo com características específicas e atributos do horizonte.

Sob condições bem drenadas, quando a respiração de organismos e raízes no solo é ótima, é produzida uma grande quantidade de  $\text{CO}_2$ . A porcentagem de  $\text{CO}_2$  no solo pode ser 10 a mais de 100 vezes maior que na atmosfera acima do solo. Este  $\text{CO}_2$  do solo torna-se uma fonte para a atmosfera, pois

difunde-se para cima à superfície ou é liberado quando o solo é perturbado por processos de aração ou outros processos de alternância. A respiração é apenas uma fonte de  $\text{CO}_2$  do solo o atmosfera. A decomposição da matéria orgânica do solo fornece para a atmosfera outro conjunto muito grande de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ .

O nitrogênio é o elemento mais abundante na atmosfera, ainda que não esteja disponível para as plantas, e muitas vezes é o nutriente mais limitante para o crescimento das plantas. Organismos do solo e certos processos ajudam a converter  $\text{N}_2$  atmosférico a uma forma que as plantas podem usar. Essas formas são nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) ou amônia ( $\text{NH}_4^+$ ). Outros organismos convertem formas orgânicas de nitrogênio de restos vegetais e animais em formas utilizáveis pelas plantas. O nitrogênio também pode ser removido do solo e se tornar uma fonte de nitrogênio para a atmosfera e para as lençóis freáticos ou superficiais.

Os Componentes do Sistema Terrestre em escala global: Vegetação Terrestre (plantas terrestres)

As plantas terrestres conectam o solo e a atmosfera. Plantas individuais formam essa conexão em escalas de tempo que variam de algumas semanas a mais de 1000 anos. No entanto, a vegetação terrestre afeta coletivamente o sistema terrestre em escalas de tempo de estações a milhares de anos e mais. À medida que as plantas terrestres crescem, elas remodelam o ambiente ao seu redor. Elas sombreiam a superfície, bloqueiam o vento, interceptam a precipitação, bombeiam a água do solo para o ar, removem nutrientes do solo e alguns vestígios de gases do ar, retêm o solo contra a erosão e sujam o chão com folhas e galhos que eventualmente aumentam o teor orgânico do solo. Dessa maneira, a vegetação terrestre desempenha um papel significativo nos ciclos de energia, água e biogeoquímico. A expansão e o crescimento das florestas, em particular, removem o dióxido de carbono da atmosfera em quantidades significativas.



## **Objetivos Educacionais**

Os alunos que participam das atividades apresentadas neste capítulo devem adquirir habilidades de investigação científica e compreensão de vários conceitos científicos. Essas habilidades incluem o uso de uma variedade de instrumentos e técnicas específicas para fazer medições e analisar os dados resultantes, juntamente com abordagens gerais para a investigação. As Habilidades de Investigação Científica listadas na caixa cinza no início de cada protocolo são baseadas no pressuposto de que o professor concluiu o protocolo, incluindo a seção Exame dos Dados. Se esta seção não for usada, nem todas as habilidades de Investigação serão abordadas. Os Conceitos de Ciência estão descritos nos Padrões Nacionais de Educação Científica dos Estados Unidos, conforme recomendado pelo Conselho Nacional de Pesquisa dos EUA, e incluem os de Ciências da Terra e do Espaço e Ciências Físicas. Os Conceitos de Geografia são retirados dos Padrões Nacionais de Geografia preparados pelo Projeto Padrões Nacionais de Educação. Conceitos de Enriquecimento adicionais específicos para as medições hidrosféricas também foram incluídos. A caixa cinza no início de cada protocolo ou atividade de aprendizagem fornece os principais conceitos e habilidades de investigação científica cobertos. As tabelas localizadas na Introdução Protocolos Terra como um Sistema fornece um resumo indicando quais conceitos e habilidades são abordados em quais protocolos ou atividades de aprendizagem.

