

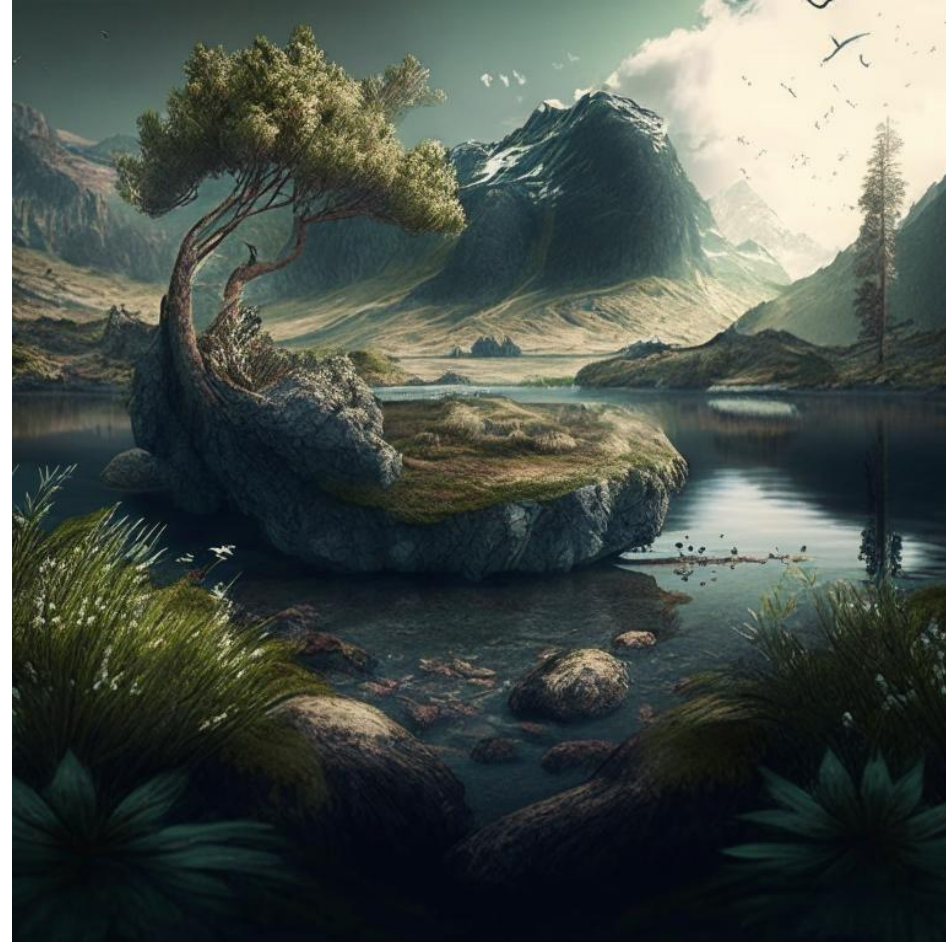
# NEUTRALIDADE DE CARBONO

**Dmitry Demidov**

Candidato em Ciências Técnicas  
Centro de Inovações Apatit, S.A.  
Grupo de Empresas "PhosAgro"



# Sistemas de captura de carbono





# Carbono

- O carbono (C) é um elemento químico com número atômico 6, pertencente ao grupo 14 do período 2 do sistema periódico de elementos químicos D. I. Mendeleev.
- O carbono encontra-se na natureza sob a forma de três isótopos: estável( $^{12}\text{C}$  e  $^{13}\text{C}$ ) e radioativo( $^{14}\text{C}$ ) com meia-vida de 5730 anos.
- O carbono faz parte dos gases com efeito de estufa, como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), os freons e os halogênios de carbono.
- O carbono está presente na crosta terrestre sob a forma de carbonatos ( $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ , etc.), gás natural e petróleo, carvão, xisto e diamantes. Encontra-se na atmosfera sob a forma de monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).
- A massa total de carbono é estimada em aproximadamente 600 milhões de toneladas, com 0,1% e 0,04% na crosta e na atmosfera da Terra, respectivamente.
- O carbono tem a propriedade exclusiva de formar cadeias C-C-C muito longas que podem ter milhões de ligações.





# Forma de vida baseada em carbono

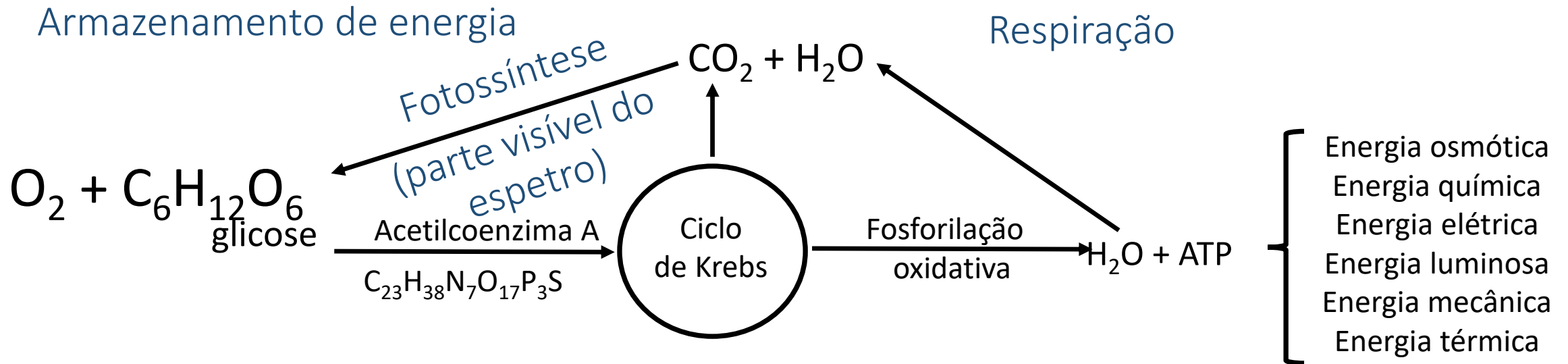
- A capacidade do carbono de formar cadeias e anéis longos e estáveis com outros elementos (como oxigênio, nitrogênio, hidrogênio etc.) resulta em variações quase infinitas de substâncias orgânicas que interagem entre si.
- Os organismos vivos podem variar quantitativamente em sua composição elementar, mas qualitativamente são todos compostos de matéria orgânica, 96-98% composta de oxigênio, carbono, hidrogênio e nitrogênio.
- Os processos bioquímicos nos organismos vivos e suas interações com a natureza inanimada são baseados em reações com substâncias orgânicas (aminoácidos, ácidos nucleicos, proteínas, gorduras, carboidratos, enzimas, hormônios, pigmentos, vitaminas etc.).
- Esses processos são mais comumente conhecidos como respiração, movimento, reprodução, crescimento, desenvolvimento, hereditariedade, variabilidade e adaptação.



| Composição elementar, % | O  | C  | H  | N   | Ca  | P   | Mg  | K    |
|-------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|------|
| Homem                   | 65 | 18 | 10 | 3   | 2,4 | 1   | 0,3 | 0,15 |
| Planta (média)          | 45 | 45 | 6  | 1,5 | 1,0 | 0,2 | 0,5 | 0,2  |



# Processos de emissão e sequestro de carbono na natureza



- No processo de respiração, o oxigênio inalado pelos organismos vivos é usado como oxidante do "combustível orgânico"; a oxidação resulta na liberação de energia e dióxido de carbono.
- Graças à fotossíntese e à quimiossíntese, arqueias, bactérias e plantas podem acumular energia a partir da radiação da parte visível do espectro, convertendo dióxido de carbono em substâncias orgânicas.
- Os animais não têm clorofila e não podem acumular energia solar. Assim, eles obtêm energia, por exemplo, de alimentos vegetais e liberam dióxido de carbono.
- Como qualquer outro organismo onívoro, os seres humanos podem obter energia de outros animais e plantas e, portanto, só podem emitir gases de efeito estufa.

# Gases de efeito estufa, seu papel no ecossistema e impacto sobre os seres humanos



- A água, o dióxido de carbono e o metano são uma parte natural do ciclo de vida dos organismos - sistemas bioquímicos que participam de ciclos naturais e são altamente sensíveis ao equilíbrio dos gases de efeito estufa.
- O equilíbrio adequado dos gases de efeito estufa garante processos evolutivos e adaptativos normais.
- Como as pessoas precisam de fontes adicionais de energia, materiais artificiais e alimentos em sua vida diária, elas usam a inteligência para melhorar seu padrão de vida.
- A estufa é uma invenção humana que usa a luz e o efeito estufa para otimizar o processo de cultivo de vegetais em climas frios.
- O impacto antropogênico é uma atividade voltada para a realização de interesses humanos e associada a mudanças no meio ambiente, incluindo emissões para o meio ambiente de substâncias sólidas, líquidas e gasosas, microrganismos ou energia em quantidades prejudiciais a seres humanos, animais, plantas e ao ecossistema como um todo.
- Os gases de efeito estufa antropogênicos são gases de efeito estufa liberados no ambiente externo por atividades humanas que aceleram o aquecimento global independentemente do ciclo natural de mudança de temperatura.





# Gases com efeito de estufa e sua absorção



- O oceano mundial produz 50% do oxigênio, captura 31% do dióxido de carbono e absorve 90% do calor total. O oceano mundial é o principal estabilizador do clima em nosso planeta e o principal absorvedor de gases de efeito estufa.



- Embora os pântanos cubram apenas cerca de 1% da superfície terrestre, a vegetação dos pântanos captura e armazena cerca de 20% do dióxido de carbono global devido às condições desfavoráveis para a decomposição de resíduos vegetais e à restrição das emissões de dióxido de carbono.



- Os solos contêm 75% do carbono terrestre na forma de matéria orgânica e organismos do solo; os restantes 25% são representados pela biomassa vegetal: árvores (florestas) e cobertura do solo (gramíneas e outros).

- As florestas servem como habitat para 75% dos animais terrestres. As florestas em crescimento são os ecossistemas mais produtivos na captura de dióxido de carbono e na libertação de oxigênio. O equilíbrio de oxigênio e dióxido de carbono depende muito do tipo e da idade das florestas: a taxa fotossintética em florestas antigas é menor do que a taxa de respiração, portanto, o termo "pulmões do planeta" só se aplica a florestas em crescimento com acúmulo contínuo de biomassa.



- O restante coberto vegetal é representado por comunidades de plantas terrestres fora das florestas.

# A eficiência da absorção de gases de efeito estufa pelos ecossistemas



- A eficiência da absorção de gases de efeito estufa pelos ecossistemas varia consideravelmente de acordo com a região, as condições climáticas e o tipo de vegetação.
- Em geral, a eficiência está diretamente relacionada à taxa de aumento da biomassa em um ecossistema.
- A eficiência com a qual um ecossistema absorve gases de efeito estufa pode ser significativamente reduzida por mudanças climáticas bruscas, incêndios e doenças, pois os processos de crescimento são substituídos por queimadas e decomposição.

## Produtividade do carbono (toneladas/ha por ano)

|  |     |
|--|-----|
| Solos florestais                       | 0,3 |
| Solos sob gramíneas forrageiras        | 0,4 |
| Miscanthus                             | 2,3 |
| Misturas de gramíneas (8 toneladas/ha) | 3,8 |
| Plântulas de pinheiro                  | 3,8 |
| Salgueiro                              | 4,5 |

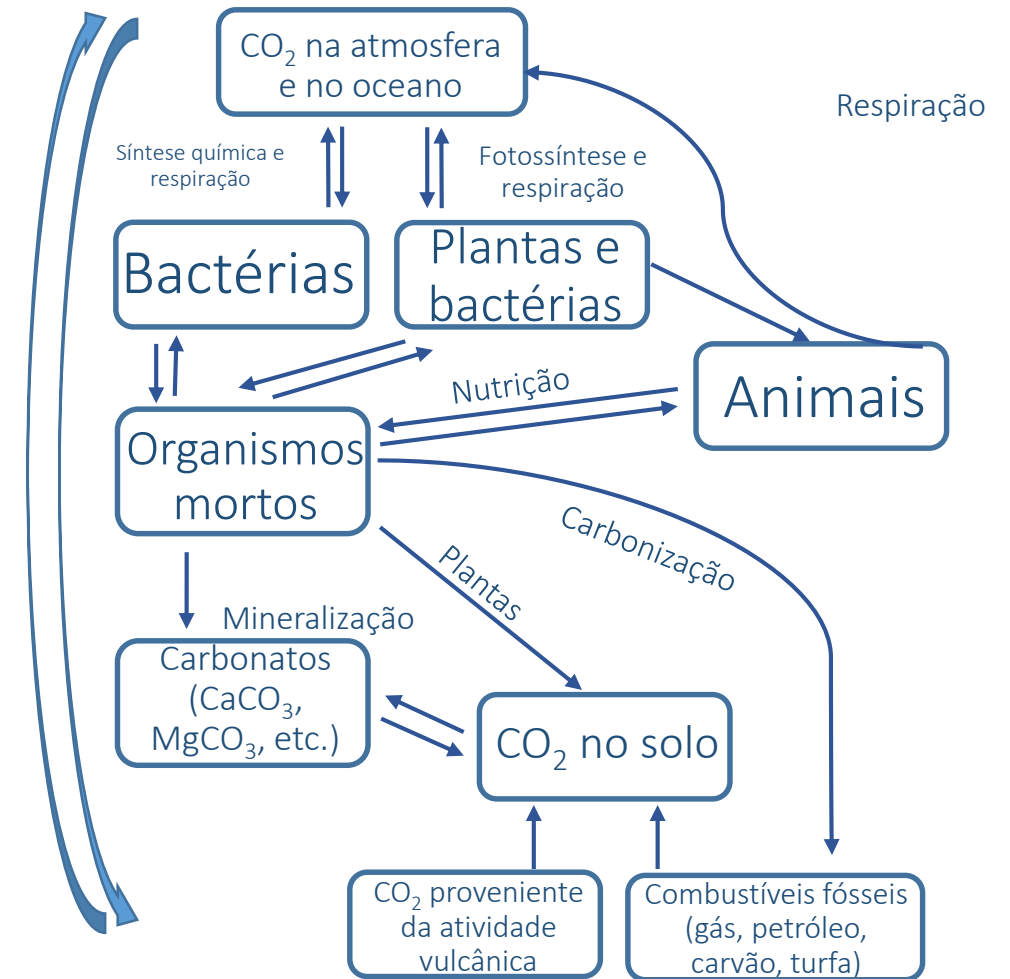






## O ciclo do carbono na biosfera

- O ciclo do carbono na natureza é o processo de circulação do carbono entre as conchas da Terra e os organismos vivos. As plantas absorvem o dióxido de carbono do ar e o utilizam para sintetizar nutrientes. Quando os animais comem plantas, o carbono é armazenado nos seus corpos ou libertado sob a forma de  $\text{CO}_2$  quando respiram.
- O carbono é liberado na atmosfera como resultado de emissões naturais e antropogênicas, combustão de madeira e combustíveis fósseis ou decomposição de organismos mortos.





## Outras fontes de carbono atmosférico

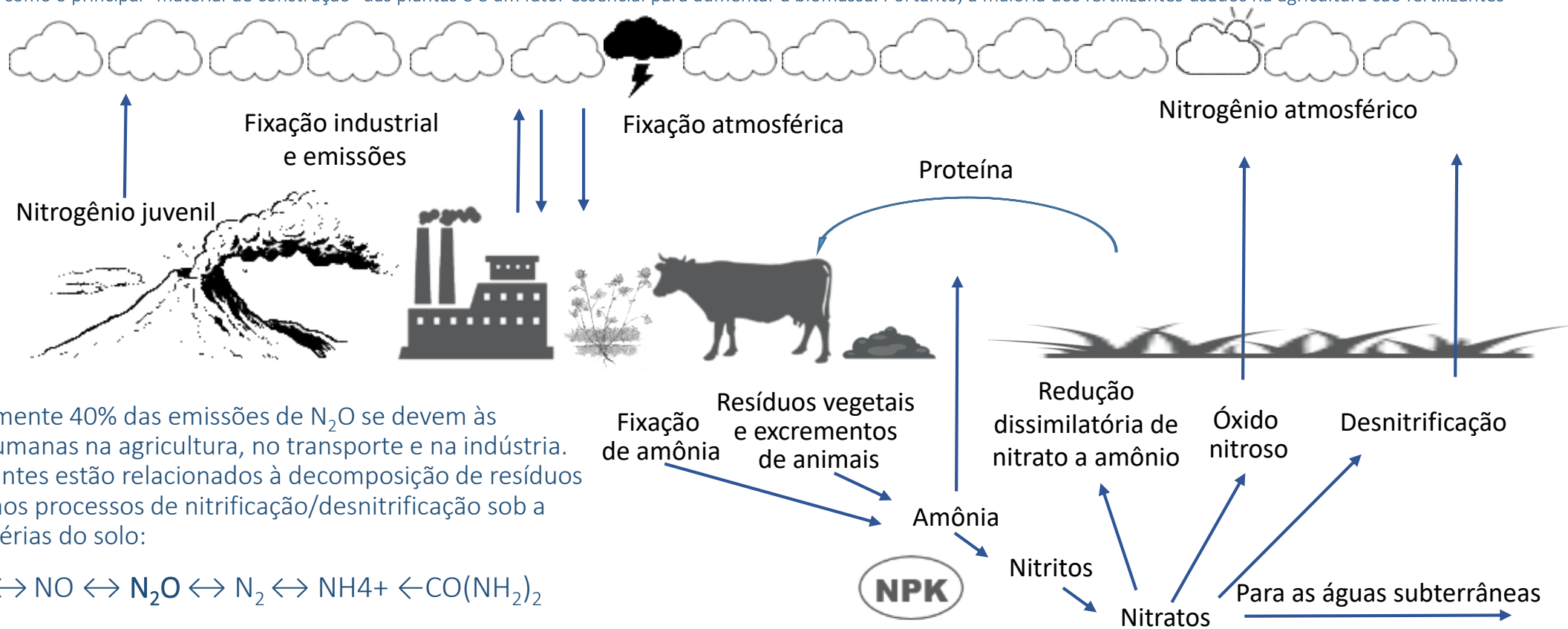
- A atividade vulcânica, os terremotos e outros processos geológicos naturais liberam regularmente grandes quantidades de gás natural (metano) e dióxido de carbono.
- A extração de minerais inevitavelmente leva à perda parcial dos recursos produzidos - gases de petróleo naturais e associados que contêm metano.
- Fonte de 62% da energia no mundo - queima de combustíveis, o que resulta na emissão de dióxido de carbono.
- Atualmente, há mais de um bilhão de carros no mundo, e os veículos elétricos representam cerca de 1%.
- Oito bilhões de pessoas e um bilhão de cabeças de gado produzem aproximadamente 8 milhões de toneladas de dióxido de carbono (humanos), 6,5 milhões de toneladas de dióxido de carbono e 0,3 milhão de toneladas de metano por dia, ou 8 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por ano (potencial de aquecimento global em 100 anos).
- Os incêndios florestais, a agricultura intensiva e o desmatamento perturbam o equilíbrio do dióxido de carbono e reduzem a eficiência de sua absorção.





# Ciclo do nitrogênio e efeito estufa

- A maior parte do nitrogênio é encontrada na atmosfera (78%); na crosta terrestre, o teor de nitrogênio fixado juvenil na forma de vários minerais é de 0,04%.
- Na biosfera, o nitrogênio está presente em diversas formas: nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), uréia ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) e óxidos ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$ ).
- As concentrações dessas substâncias refletem o estado das comunidades do solo, dos solos, da atmosfera e dos corpos d'água.
- O nitrogênio serve como o principal "material de construção" das plantas e é um fator essencial para aumentar a biomassa. Portanto, a maioria dos fertilizantes usados na agricultura são fertilizantes nitrogenados.



- Aproximadamente 40% das emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  se devem às atividades humanas na agricultura, no transporte e na indústria. Os 60% restantes estão relacionados à decomposição de resíduos orgânicos e aos processos de nitrificação/desnitrificação sob a ação de bactérias do solo:





# Absorção pela biomassa da planta

- O dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) está ativamente envolvido no processo de fotossíntese das plantas.
- As plantas consomem nitrogênio na forma de íons amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e íons nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ).
- O nitrogênio e o carbono também são absorvidos na forma de vários compostos orgânicos presentes no solo, como os aminoácidos.
- Em simbiose com bactérias, algumas plantas (por exemplo, leguminosas) podem absorver nitrogênio da atmosfera e convertê-lo em um nutriente.
- A deficiência de nitrogênio e outros nutrientes impede o crescimento das plantas e a acumulação de biomassa, além de afetar a absorção de dióxido de carbono da atmosfera pelas plantas.
- Devido à ação das bactérias, os solos com excesso de nitrogênio liberam grandes quantidades de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ).
- Durante a decomposição da biomassa vegetal, o dióxido de carbono e o óxido nitroso, absorvidos durante a fase de crescimento, são liberados de volta para a atmosfera.





# Absorção pelo solo

- A matéria orgânica é um componente chave do solo que influencia suas propriedades físicas, químicas e biológicas.
- Nas primeiras décadas após o início da formação do solo, a taxa de formação do solo pode chegar a 4-5 mm por ano; após 100 anos, a taxa máxima diminui para 1,5 mm por ano e, após 800 anos, para 0,5 mm por ano.
- Os solos servem como um depósito natural de carbono, mas sua capacidade de armazenar carbono varia consideravelmente, dependendo do tipo de solo e da zona climática.
- Os processos de nitrificação/desnitrificação e a formação de óxido nitroso ocorrem no solo.
- O acúmulo acelerado de matéria orgânica no solo se deve ao aumento da biomassa das raízes das plantas e ao desenvolvimento da microbiota do solo, que contribui para a formação de matéria orgânica no solo.





# Absorção pelo Oceano

- O dióxido de carbono se dissolve na água em uma proporção de 1,48 kg por metro cúbico.
- A área do Oceano Mundial é de 36,1 bilhões de hectares, e seu volume é estimado em  $1,34 \times 10^{18}$  metros cúbicos." Dessa forma, o Oceano é o principal absorvedor de dióxido de carbono.
- O dióxido de carbono é capturado passivamente pela superfície do oceano e disperso pelas ondas. Quando o dióxido de carbono se dissipa para as profundezas do oceano, participa da reação de neutralização de carbonatos, necessária para manter o equilíbrio ácido-base do oceano.



- Se a quantidade de carbonatos no oceano ou no fundo do mar for insuficiente, a acidez da água aumenta.
- A principal fonte de  $\text{CaCO}_3$  provém dos organismos vivos que formam as conchas e os corais. Depois que esses organismos morrem, as conchas e os corais afundam no fundo do mar.
- A formação de conchas e corais é possível se houver  $\text{CaCO}_3$  suficiente na água, mas a disponibilidade deste sal diminui à medida que o oceano se acidifica.
- A deficiência de  $\text{CaCO}_3$  leva à supressão dos mecanismos compensatórios e ao aumento da acidificação.
- Nos últimos 100 anos, o pH do oceano diminuiu em 0,1. Espera-se que diminua em mais 0,2 até 2010.



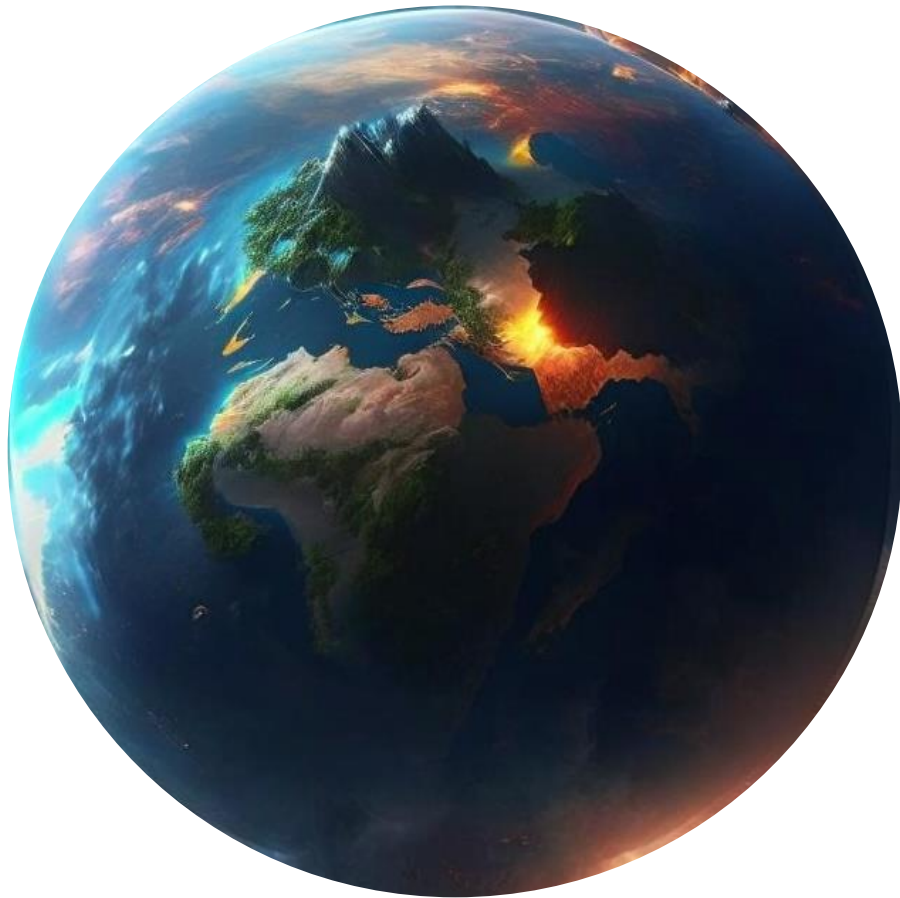


## Emissões de gases de efeito estufa por ecossistemas

- A absorção de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) pelos ecossistemas está ligada às atividades dos organismos vivos e tem certas limitações de taxa.
- As emissões de gases de efeito estufa pelos ecossistemas são causadas por processos geoquímicos naturais, morte e decomposição de organismos vivos, incêndios causados por tempestades, secas e incêndios criminosos, além de impactos antropogênicos.
- As alterações nos habitats podem reduzir o armazenamento de carbono e aumentar as emissões de gases de efeito estufa.
- No final, isso pode levar à morte de muitos organismos vivos.



# Conclusões



- A vida baseada em carbono é possível apenas dentro de uma faixa estreita de temperaturas e condições confortáveis para as espécies existentes.
- Um total de 31% do dióxido de carbono é encontrado na água, 20% em áreas úmidas e o restante é distribuído entre a atmosfera, os solos e os organismos vivos.
- Os mecanismos e processos evolutivos e adaptativos de aumento de biomassa, formação de solo e sedimentação no fundo do oceano levam milhares de anos.
- Os processos de respiração, fotossíntese e decomposição contribuem naturalmente para o equilíbrio de carbono. A intensificação dos processos de decomposição (que não são compensados pelo acúmulo de biomassa e pela absorção impulsionada pelo ecossistema) amplifica o efeito estufa.
- Os impactos antropogênicos associados ao rápido aumento das emissões de gases de efeito estufa contribuem para o armazenamento de carbono nos ecossistemas, mas não levam a melhorias ambientais e climáticas.
- Atualmente, os ecossistemas existentes podem manter um equilíbrio de carbono, mas um desequilíbrio crescente pode levar à redução da capacidade de absorção e a desastres ecológicos em grande escala.
- Os processos geológicos também podem levar a desastres ambientais, mas eles estão fora do nosso controle.





---

**Obrigado por sua  
atenção!**