



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

EMENTA DE DISCIPLINA

NOME DA DISCIPLINA: TÓPICOS ESPECIAIS EM PETROLOGIA/GEOQUÍMICA): **Geologia na Transição Energética** _____

CARGA HORÁRIA: 45

NUMERO DE CRÉDITOS: 3

CATEGORIA: eletiva

PROFESSOR RESPONSÁVEL:

Farid Chemale Junior

OBJETIVO: A presente disciplina tem como objetivo principal introduzir conhecimentos necessários sobre transição energética com foco em geologia. Tem como objetivo específico o melhor entendimento dos depósitos naturais de hidrogênio e sua potencialidade, dos sistemas de captura, armazenamento e utilização de CO₂ e dos depósitos dos principais minerais críticos com vista a sua aplicação na transição energética.

CONTEÚDO: A disciplina aborda o papel das Geociências na transição energética global, com foco em hidrogênio, gestão de carbono, recursos minerais críticos e novas fontes de energia. São discutidos os fundamentos geológicos dos sistemas de hidrogênio natural, armazenamento geológico de energia e tecnologias de CCS/CCUS. Exploram-se os depósitos de metais críticos para a eletrificação e armazenamento de energia, bem como fronteiras de exploração mineral e aspectos de geoquímica ambiental. O curso inclui fundamentos de energia geotérmica, o futuro da indústria de óleo e gás na transição energética e a reutilização de infraestruturas existentes. São abordados também os aspectos regulatórios, licenciamento ambiental e políticas públicas no contexto brasileiro. A disciplina integra conceitos técnicos, econômicos e ambientais, culminando em seminários temáticos e discussões críticas sobre desafios e oportunidades da transição energética.

Modulo I: O Papel das Geociências e o Vetor Hidrogênio	
Aula 1	Introdução e Contexto Global. O papel do geólogo no "Net Zero". Matriz energética mundial vs. brasileira. O conceito de "Geologia do Petróleo" transicionando para "Geologia de Sistemas Energéticos".
Aula 2	Economicidade do Hidrogênio. Cadeia de valor do H ₂ (cinza, azul, verde, branco). Custos de produção, transporte e a viabilidade do mercado brasileiro frente ao mercado internacional (REHIDRO e incentivos).
Aula 3	Hidrogênio Natural (Geologia). Sistemas de hidrogênio nativo: fontes (serpentinização, radiólise), reservatórios e trapas. Exemplos análogos e províncias potenciais.



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO

Aula 4	Armazenamento Geológico de Energia. Além do H ₂ , o uso de cavidades salinas e aquíferos para armazenamento de ar comprimido (CAES) e o próprio H ₂ .
Módulo II: Gestão de Carbono (CCS/CCUS)	
Aula 5	CCS I - Seleção de Sítios e Caracterização. Geologia de reservatórios aplicada ao CO ₂ . Injeção em aquíferos salinos profundos e campos de petróleo maduros (EOR/EGR).
Aula 6	CCS II - Monitoramento e Geoquímica. Interação fluido-rocha, integridade do selo e monitoramento sísmico/geoquímico para garantir a segurança do armazenamento a longo prazo.
Módulo III: Recursos Minerais Críticos	
Aula 7	Metais Críticos I - Metais de Bateria. Geologia do Lítio, Cobalto e Níquel. Tipos de depósitos (pegmatitos, salares, lateritas) e o desafio da exploração sustentável.
Aula 8	Metais Críticos II - Terras Raras e Cobre. O papel dos elementos de terras raras em turbinas eólicas e motores elétricos. Geologia das Terras Raras. Geologia do Cobre como o "metal da eletrificação".
Aula 9	Fronteiras de Exploração e Geoquímica Ambiental. Novas tecnologias de prospecção mineral e a avaliação do ciclo de vida (LCA) na mineração.
Módulo IV: Novas Fronteiras e Integração	
Aula 10	Energia Geotérmica. Sistemas hidrotermais e sistemas geotérmicos avançados (EGS). O potencial de calor radiogênico em bacias sedimentares.
Aula 11	O Futuro da Indústria de Óleo e Gás. Descomissionamento de campos, reutilização de infraestrutura para energia offshore (eólica e ondas) e a integração com CCS.
Aula 12	Regulação, Licenciamento e Seminário Final. Discussão sobre o marco regulatório brasileiro (ANP, processos de oferta permanente)
Aula 13	Seminários
Aula 14	Seminários

BIBLIOGRAFIA BÁSICA:

- ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis). Relatórios e marcos regulatórios sobre CCS, hidrogênio e oferta permanente.
- Arndt, N. T., et al. (2017). Metals and metalloids for renewable energy. *Nature Geoscience*, 10, 75–79.
- Bachu, S. (2008). CO₂ storage in geological media: Role, means, status and barriers. *Energy Conversion and Management*, 49, 220–236.
- Baines, S. J., & Worden, R. H. (2004). Geological storage of carbon dioxide. *Geological Society Special Publications*, 233.



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO

- Dickson, M. H., & Fanelli, M. (2004). *Geothermal Energy: Utilization and Technology*. UNESCO.
- Etiopo, G., & Schoell, M. (2014). Abiotic gas: Atypical, but not rare. *Chemical Geology*, 378–379, 1–12.
- European Commission (2020). *Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards Greater Security and Sustainability*.
- IEA (2023). *World Energy Outlook*. International Energy Agency.
- IPCC (2005). *Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*. Cambridge University Press.
- IPCC (2022). *AR6 Synthesis Report: Climate Change 2022*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Ministério de Minas e Energia (MME). *Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050)*.
- Pedrosa-Soares, A.C., Diniz, H. B., Costa, C. H. C., Victoria, A., Guimarães, A., Guimarães, F., Wisniowski, L., Serrano, P. 2025 Lithium in the Eastern Brazilian Pegmatite Province: A Synthesis Highlighting Spodumene-Rich Deposits. ***Economic Geology* (2025) 120 (5): 1331–1370.**
- Prinzhofer, A., Deville, E., & Pillot, D. (2019). Natural hydrogen continuous emission from sedimentary basins. *Geosciences*, 9(2), 84.
- Serratt, H; Cupertino, JA; Cruz, MF; Girelli, TJ; Lehn, I; Teixeira, CD; Oliveira, HOS; Chemale Jr, F. 2025. Southern Brazil hydrogen systems review. *International Journal of Hydrogen Energy* 69, 347-357.
- Smil, V. (2022). *How the World Really Works: The Science Behind How We Got Here and Where We're Going*. Viking.
- Takehara, L.; Silveira, F. V.; Santos, R. V .. Potentiality of Rare Earth Elements in Brazil In: *Rare Earths Industry: Technological, Economic, and Environmental Implications*, ed.1. Amsterdam: Elsevier, 2015, v.1, p. 57 - 68.
- Tester, J. W., et al. (2006). *The Future of Geothermal Energy*. MIT Press.
- USGS (2023). *Mineral Commodity Summaries*. United States Geological Survey.
- Zgonnik, V. (2020). The occurrence and geoscience of natural hydrogen: A comprehensive review. *Earth-Science Reviews*, 203, 103140.