

CONCURSO PARA PROFESSOR ADJUNTO A
PROGRAMA DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO / COPPE
SETORIZAÇÃO: TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE
VAGA MC-197

PROVA ESCRITA

PONTO 1: CONCEITO E TEORIA- DINÂMICA SÓCIO-TÉCNICO-ECONÔMICA
DAS TRANSIÇÕES ENERGÉTICAS

QUESTÃO 1 - Como os conceitos de nicho, regime sócio-técnico e paisagem sócio-técnica influenciam a compreensão dos processos de inovação energética, especialmente em relação ao surgimento e difusão de tecnologias emergentes como veículos elétricos, no contexto da resistência de grupos sociais estabelecidos e a necessidade de realinhamento estratégico?

QUESTÃO 2 - Considere a substituição de energéticos no setor de transportes e na geração de eletricidade. Quais são as informações necessárias para se calcular o custo de mitigação das emissões de gases de efeito estufa no ciclo de vida das duas alternativas (i.e. a de referência e a de substituição) para ambos os casos? Matematicamente, qual o procedimento de cálculo? No caso do Brasil, quais devem ser as fontes/tecnologias dos casos de referência?

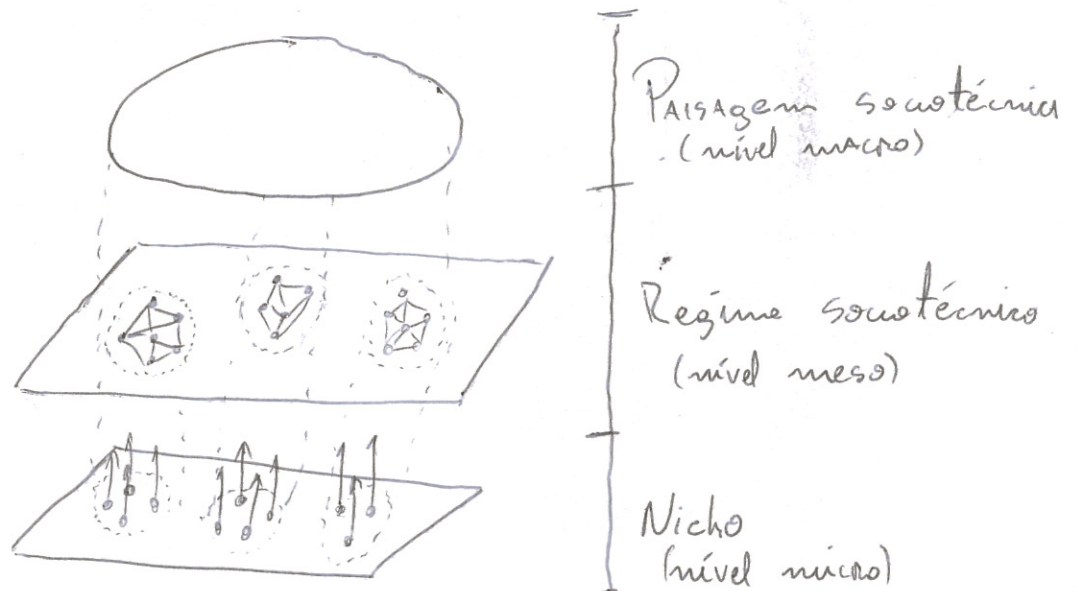
PONTO 4: TRANSIÇÃO ENERGÉTICA JUSTA (“*JUST TRANSITION*”)

QUESTÃO 3 – O processo de transição energética justa (“*just transition*”) deve implicar em uma redefinição do papel dos combustíveis fósseis na economia global. Com base nos princípios da justiça energética e nos desafios da descarbonização, discuta como o processo de transição energética, se mal-conduzido, pode afetar macroeconomicamente de forma desigual países e regiões do globo e ter implicações para a pobreza e segurança energética.

Número do Candidato: 74

Continuação

Questão 1: Os conceitos de nicho, regime sócio-técnico e paisagem sócio-técnica compõem o modelo teórico denominado "Perspectiva Multinível", proposto por Frank Geels para a análise da dinâmica da transição de sistemas complexos, que engendram a temática da transição energética. No modelo, cada um desses itens representa um nível, que interage com os demais na dinâmica das transições. A figura abaixo representa o posicionamento atribuído de cada elemento de acordo com o modelo:



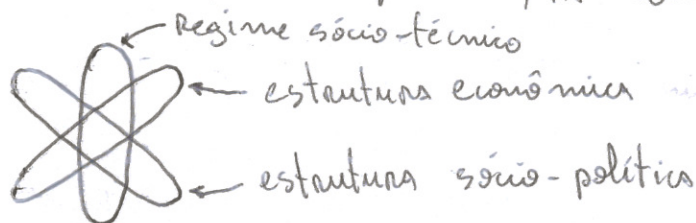
A paisagem sócio-técnica compreende elementos contextuais macro, como condições econômicas, políticas e culturais, que são eminentemente exógenas ao regime. Já os nichos são o nível em que surgem as inovações tecnológicas que contestam o status quo do regime sócio-técnico, buscando ocupar o espaço em que restam as tecnologias e sistemas incumbentes.

Número do Candidato: 74

Continuação

Nesse sentido, os regimes sociotécnicos, no nível meso da estrutura, representam o status quo, contemplando não apenas as tecnologias, mas os atores (setor público, privado e terceiro setor) e os modelos de negócio e aspectos culturais vigentes. Além desses elementos isolados, os regimes incluem todas as conexões de interação entre eles. Sendo assim, os regimes sociotécnicos são constantemente pressionados pelos aspectos exógenos que advêm da paisagem e pelas inovações advindas do nicho, que buscam ascender ao nível superior. Com isso, o papel dos regimes socio-técnicos é essencialmente resistir a essas pressões, para que possa se manter como status quo.

Uma sofisticação desse modelo que permite avaliar de forma mais clara a dinâmica da inovação a partir do ponto de vista do regime incumbente é o modelo da Estrutura Triplamente Aninhada (Triple Embedness Framework), proposto por Bruno Tuenheim e Frank Geels. Nesse modelo, o regime sócio-técnico incumbente se encontra aninhado com duas estruturas que o influenciam, uma econômica e uma sócio-política, tal como ilustra a figura a seguir:



Esse modelo é empregado principalmente para avaliar transições sócio-técnicas pela ótica do regime incumbente, ou seja, em uma lógica de declínio. Esse declínio, em geral, apresenta as 5 fases a seguir:

Número do Candidato: 74

Continuação

Fase 1: Legueira e negação → o regime resiste a pressões (sobretudo da estrutura sócio-política) negando os problemas apresentados, com estratégias de campanha de descrédito e negacionismo.

Fase 2: Busca de soluções incrementais → o regime reconhece a existência de problemas, iniciando uma busca por soluções pontuais dentro de sua estrutura ou com inovações incrementais.

Fase 3: Busca longa de soluções → as pressões aumentam, sobretudo econômicas, e o regime passa a buscar soluções mais distantes de sua prática.

Fase 4: Declínio e desestabilização → o regime incumbente começa a cair em descrédito, iniciando uma busca por reorganizar ou recriar sua estrutura.

Fase 5: Dissolução → o regime incumbente é ~~substituído~~ ^{dissolvido}, de forma que os seus agentes econômicos busquem recuperar o máximo do valor ora investido ("milking the assets").

Sendo assim, esse modelo auxilia na compreensão da dinâmica dos processos de inovação energética, no sentido da resistência inicial dos atores, seguida pelo realinhamento estratégico. No caso citado ^{como} exemplo da questão, os regimes sociotécnicos incumbentes, no papel das montadoras de veículos a combustão, inicialmente resistiram à inovação vinda dos nichos que representava o carro elétrico. Isso pode ser exemplificado pela descontinuidade de projetos

Número do Candidato: 74

Continuação

de veículos elétricos por montadoras grandes nos anos 1990 e 2000. Contudo, com mudanças importantes no ambiente sócio-político ~~político~~ (preocupação com clima e qualidade do ar) e econômico (queda dos preços de baterias e geração fotovoltaica), o regime identificou a necessidade de realinhamento estratégico para evitar sua dissolução, o que pode ser representado pelo reposicionamento de montadoras tradicionais para a produção de veículos elétricos.

Questão 2: O custo de mitigação das emissões de GEE, ao ser estimado a partir ~~de~~ de uma lógica de ciclo de vida, deverá primeiramente considerar as emissões totais de sua cadeia produtiva. No uso dos transportes, do poço ^{ao} ~~do~~ ^{posto} ~~da~~ (well-to-~~the~~ ^{pump}), e no uso da geração, do poço ao fio (well to wire). O procedimento de estimar as emissões do ciclo de vida inicia-se com a definição de objetivo e escopo da análise, ou seja, das etapas a serem consideradas na contabilização. Essa contabilização necessita ser realizada a partir de uma unidade harmônica de medida, denominada como unidade funcional. Nesse ponto, faz-se relevante considerar uma métrica intensiva de cálculo, com base no nível de emissões de GEE por unidade de energia. Pág. 4

O nível de emissões de GEE deve considerar não apenas o CO₂, mas os demais

Número do Candidato: 74

Continuação

de efeito estufa, de forma que é necessário usar um fator de conversão, como a métrica GWP-100, mais comumente considerada. Já a unidade de energia deve ser considerada de acordo com o vetor energético de energia final. No caso dos combustíveis de transporte, usualmente MS, e para eletricidade, MWh. Sendo assim, a contabilização das ^{indicadores de} emissões dos vetores energéticos pela lógica de ciclo de vida pode ser feita pela seguinte formulação:

$$C_i = \sum_j \frac{e_{j,i}}{p_i} \quad \text{Onde}$$

C_i = intensidade de emissões do energético i $\left[\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{MS}} \text{ ou } \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{MWh}} \right]$
 $e_{j,i}$ = emissões de GEE do energético i na etapa j da cadeia produtiva (upstream, midstream, downstream) $[\text{kg CO}_2\text{e}]$
 p_i = produção do vetor energético i $[\text{MS ou MWh}]$

Importa ressaltar que em etapas da produção em que mais de um produto seja coproduzido com o vetor energético final, faz-se necessária uma regra de alocação, para averiguar o quanto de emissões devem ser consideradas de responsabilidade da produção desse vetor. Isso pode ser feito por uma distribuição com base em critério massico, energético ou econômico, em geral.

A respeito dos custos, uma lógica similar deve ser adotada para contabilização. Ou seja, devem ser computados todos os custos das cadeias produtivas dos vetores de referência e alternativo. Contudo, isso torna-se mais simples da lógica econômica, uma vez que tais custos já são considerados pelos preços dos insumos utilizados.

Há tipicamente três categorias de custos para uma análise técnico-econômica

Número do Candidato: 74

Continuação

do processo de conversão energética: investimento (CAPEX), operação & manutenção fixo (OPEX_f) e variável (OPEX_v). O investimento representa os custos de capital do processo, tipicamente aplicados no início do projeto. OPEX_f contempla os custos fixos anuais, incluindo os custos de trabalho e de manutenção, além de outros. Já o OPEX_v inclui os insumos do processo, como matérias-primas e utilidades (eletricidade, vapor, etc). Além desses elementos, é importante ressaltar o papel da taxa de desconto (R), que representa de forma genérica o nível de "preferências pelo presente" dos tomadores de decisão, ou seja, quanto maior o seu valor, menor é o tempo em que o investimento precisa ser recuperado. Esses parâmetros são empregados para estimar o custo nivelado da energia (LCOE), o principal indicador de custo considerado em análises técnico-econômicas de tecnologias de energia. O LCOE é obtido da equação abaixo:

$$LCOE_i = \frac{CAPEX_i \times FRC + OPEX_{f,i} + OPEX_{v,i} \times P_i}{P_i} \quad FRC = \frac{R \times (1+R)^t}{(1+R)^t - 1}$$

Onde $LCOE_i$ = Custo nivelado do vetor de energia final i [\$/MS ou \$/MWh]

$CAPEX_i$ = Investimento de capital do vetor i [\$]

FRC = Fator de Recuperação do capital [Ano⁻¹]

R = Taxa de desconto [Ano⁻¹]

$OPEX_{f,i}$ = Custo de O&M fixo do vetor i [\$/ano]

$OPEX_{v,i}$ = " " variável " [\$/MS ou \$/MWh]

P_i = Produção anual do vetor i [MS/ano ou MWh/ano]

Número do Candidato: 74

e das emissões de ciclo de vida

Continuação

Com os dados de custo em mãos, é possível realizar a estimativa do custo de mitigação a partir da seguinte formulação:

$$CM_{AR} = \frac{(LCOE_A - LCOE_R)}{(C_R - C_A)} \quad \text{Onde: } CM_{AR} = \text{Custo de mitigação da substituição do vetor de referência (R) pelo vetor Alternativo (A) } [\$/\text{kg CO}_2\text{e}]$$

No caso do Brasil, para a geração elétrica o sistema de referência deve ser considerado como o sistema interligado nacional, a partir do cálculo da média anual de participação das fontes para compor os indicadores de custo e emissões. Já no setor de transportes, no caso de veículos leves, deve-se considerar os valores referentes à gasolina C como referência, formada pela mistura de gasolina pura (~70%) e etanol Anidro (~30%). Para o transporte pesado, a referência de combustível para o Brasil será o Diesel B, formulado com diesel fóssil (~90%) e biodiesel (~10%).

Questão 3

Ao longo da história da humanidade, considera-se que houve duas grandes transições energéticas, usualmente localizadas no tempo como tendo ocorrido no início e na metade do século XX, em que respectivamente o mundo substituiu a biomassa pelo carvão e o carvão pelo petróleo como principais vetores de energia primária. Assim, é possível afirmar que a ^{grande} transição vislumbrada para o século XXI

Número do Candidato: 74

Continuação

não é algo inédito. Contudo, há elementos que a distinguem das transições anteriores substancialmente, trazendo desafios que são de fato inéditos. Um desses é o caráter planejado da transição para os renováveis, motivado por um diagnóstico ex-ante de um problema ambiental de escala global e catastrófica. Enquanto isso, as transições pretéritas ocorreram de forma espontânea, guiadas sobretudo pelo desempenho técnico e econômico das inovações ora presentes. Outro ponto importante, destacado por York e Bell, é que as transições pretéritas poderiam tão bem ser classificadas como "adições energéticas". Visto que a substituição verificada deu-se na participação das fontes no mix do consumo global, enquanto que a figura do consumo absoluto dos energéticos manteve-se crescendo. Assim, a transição do século XXI seria de fato a primeira vez em que a humanidade demandaria deliberadamente a redução absoluta do uso de vetores energéticos disponíveis, no caso os fósseis. Esse cenário cria um conjunto de distorções sobre os regimes sócio-técnicos vigentes que, em última análise, impactam socioeconomicamente países e regiões. Tais impactos remetem ao conceito da justiça energética, que possui quatro princípios basilares:

- 1) Justiça distributiva: direito igual de todos a dividir os fardos da transição intra e intergeracionalmente
- 2) Justiça diligente: direito ao devido processo legal
- 3) Justiça cosmopolita: direito à qualidade de vida
- 4) Justiça de reconhecimento: direito ao reconhecimento da sua existência

Número do Candidato: 74

Nesse contexto, os esforços da transição energética repercutem ^{Continuação} ~~em~~ potencialmente sobre esses princípios da justiça energética, sobretudo se os instrumentos de política forem indevidamente desenhados. Exemplos típicos desses conflitos são a exportação de impactos socioambientais e a criação de ganhadores e perdedores.

No caso da exportação de impactos, é possível ilustrar tais efeitos com duas medidas de transição energética no setor de transportes da Europa que exportam impactos socioambientais. A primeira, mais distante no tempo, foi o programa de ~~importação~~ ^{importação} de biodiesel, que ocasionou desmatamento em países do Sudeste Asiático para o fornecimento de óleo de palma. Mais recentemente, a eletrificação veicular crescente vem sendo associada ao estímulo à mineração de materiais como Lítio e Cobalto em regiões onde há jazidas ricas nesses minérios, como China e República Democrática do Congo. ~~Contudo~~ ^{Contudo}, há evidências de que tais sítios de mineração permitem práticas socialmente injustas, como trabalhos forçados e trabalho infantil.

Pela ótica de ganhadores e perdedores, a substituição de cadeias energéticas fósseis por renováveis, apesar de tipicamente apresentar um saldo global quantitativo positivo de geração de empregos, tende a impactar profundamente os setores fósseis e seus trabalhadores. O termo "just transition", inclusive, surge da luta sindical nos EUA de trabalhadores do setor químico, demandando contrapartidas governamentais ao fechamento de fábricas (e postos de trabalho) por questões ambientais. Com o advento das pressões climáticas sobre a indústria fóssil, esta encampou esse conceito, demandando também

Número do Candidato: 74um processo de transição que não deixe ninguém para trás. Continuação

Sendo assim, processos de transição energética precisam ser planejados de forma integrada, de maneira a considerar os possíveis impactos nas diferentes cadeias econômicas, setores e países, podendo assim mitigá-los e/ou compensá-los.

Questão 4

A janela de emissões de GEE para o cumprimento dos objetivos climáticos é estreita, ficando menor a cada ano. Para a manutenção dos níveis de aquecimento em até 2°C , objetivo de temperatura do Acordo de Paris, estima-se que a humanidade tenha um orçamento de emissões de cerca de 1000 GtCO₂, ~~partindo~~ partindo de 2020. Limitar em $1,5^{\circ}\text{C}$ reduziria esse orçamento para cerca de 600 GtCO₂. Não obstante, a humanidade emite

anualmente cerca de 40 GtCO₂ apenas pela queima de combustíveis fósseis, ainda sem indícios consistente de uma redução desses níveis de emissões. ~~que~~

Nesse sentido, os objetivos de combate à mudança do clima é incompatível com o uso de todas as reservas de recursos fósseis que há. O mais recente relatório do IPCC aponta que a manutenção do objetivo do Acordo de Paris de 2°C limita a queima não abatida das reservas provadas de gás natural, petróleo e carvão a 70%, 50% e 20%, respectivamente.

Ou seja, diferentemente do espectro da penúria que assolava tomadas de decisão no passado com o esgotamento dos recursos fósseis, Pág. (10)