



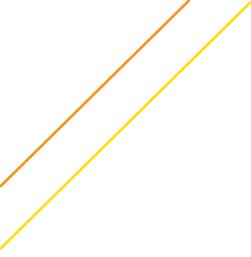
*Opções de Mitigação de Emissões
de Gases de Efeito Estufa em
Setores-Chave do Brasil*

MODELAGEM DE CUSTOS DE ABATIMENTO E DE CURVAS DE APRENDIZAGEM TECNOLÓGICA

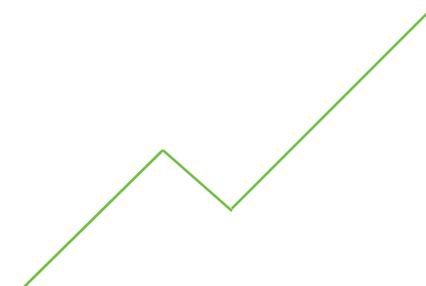
EDIFICAÇÕES

André Lucena

Outubro de 2015



Esse material objetiva a capacitação acerca das metodologias empregadas no projeto “Opções de mitigação de emissões de GEE em setores-chave do Brasil”. Portanto, seu conteúdo não expressa resultados do projeto.





Sumário

- ///* Introdução
- ///* Objetivos da construção de cenários de consumo de energia e emissões de GEE
- ///* Variáveis-chave e premissas para construção cenários de mitigação de emissões de GEE em edificações
- ///* Técnicas para cálculo do custo marginal de abatimento



Introdução

- /// Mundialmente, o setor de edificações corresponde a 32% do consumo energético (24% residencial e 8% comercial) e 19% das emissões relacionadas a energia (IPCC, 2014).
- /// No Brasil, o setor de edificações representou 14,6% do total do consumo de energia em 2013, sendo os consumos do setor residencial, comercial e público de 23.730 ktep, 8.064 ktep e 3.868 ktep, respectivamente (EPE, 2014).
- /// Quando analisado o consumo de energia elétrica especificamente, o setor de edificações ganha importância ao se colocar como o principal consumidor desta fonte. Em 2013, o consumo de energia elétrica no setor de edificações foi 251 TWh (45% do consumo elétrico total de todos os setores) (EPE, 2014).



Introdução

/// Segmentos do Setor de Edificações:

/// Residencial

/// Comercial

/// Serviços

/// Emissões de GEE no Setor de Edificações

/// Emissões diretas

/// Emissões indiretas



Uso de
Energia

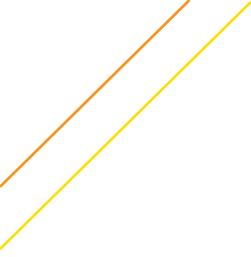




Introdução

/// A energia em edificações é utilizada para prover uma série de serviços básicos, como:

- /// Preparação e conservação de alimentos
- /// Saúde
- /// Higiene
- /// Conforto
- /// Entretenimento
- /// Comunicação
- /// Etc.



Objetivos da construção de cenários de consumo de energia e emissões de GEE





Análise de Cenários

/// Análise Positiva x Normativa

- /// Análise consistente das interações entre agentes e os outros setores da economia
- /// Instrumento de planejamento e análise de políticas.
 - /// Formulação de políticas públicas e/ou estabelecimento de diretrizes para os agentes

/// Projeção vs. previsão da oferta e da demanda de energia/emissões.

- /// Elemento do planejamento (forecast)
- /// Prever consequências de ações ou não-ações : análise de cenários de longo prazo: “*what if?*” (“se-então”)
- /// Formulação de caminhos possíveis para chegar a um objetivo (*backcast*)

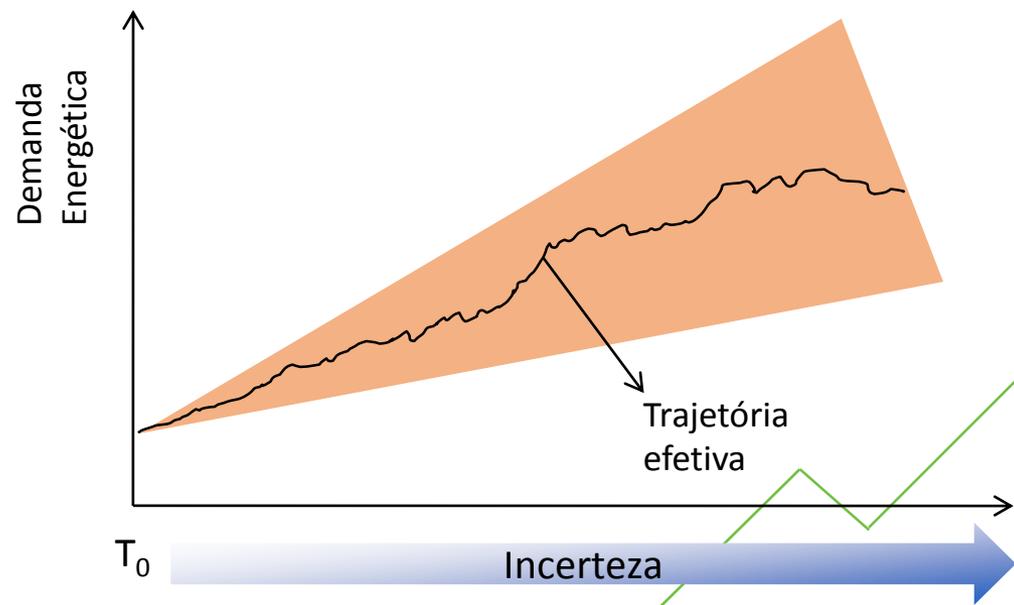


Análise de Cenários

/// Cenários:

- /// Diferente de projeções/previsões – descrições de diferentes caminhos futuros
- /// Tentativa de reduzir incerteza ao cobrir grande leque de possibilidades
- /// Ajuda a tomar posições sobre o que se julga importante, frente à incertezas elaboração de estratégias
- /// Ajuste do Ano-base

/// Cone de possibilidades:





Técnica de Cenários

/// Tipos de Cenários:

/// Cenários Tendenciais: buscam a manutenção das forças motrizes e tendências históricas

/// Linha de base – base de comparação

/// Cenário Referência – cenário que indica uma trajetória “mais provável”

/// Cenários Exploratórios (ou alternativos): buscam avaliar caminhos diferentes assumindo quebras de tendência

/// Ex. Cenário de Baixo carbono

/// Ex. Cenário de inovação

/// Cenários Normativos: configuração de futuros desejáveis, buscando uma trajetória para alcançá-los.



Variáveis para cenários de edificações

/// Elementos de cenários energéticos:

- /// Evolução sócio-econômica e demográfica
- /// Evolução tecnológica
- /// Questões ambientais

/// Requisitos da análise de cenários:

- /// Coerência: interações complexas
- /// Transparência: apresentar premissas e pressupostos para gerar discussão
- /// Humildade: ser claro com relação as limitações da análise



Técnica de Cenários

- /// Interpretação errônea de cenários:
 - /// Entendimento como previsões
 - /// Entendimento como tendências de curto-prazo
 - /// Habitualmente interpretações sobre-enfatizam a precisão quantitativa da informação
 - /// Ênfase nas fontes de informação e na justificativa para determinados parâmetros



Cenário de linha base

- /// Ajuste do ano base: importância do ajuste do ano base pois a partir dele serão estabelecidas as evoluções de consumo e energia e emissões associadas.
- /// Calibração do ano base: Abordagem *Top-Down e Bottom-up*
 - /// Top-Down: Ajuste com base em consumo energético por fontes por setor e demanda de energia por uso final.
 - /// Bottom-up: Parâmetros de posse, uso, número de residências, eficiência de equipamentos, consumo específico, entre outros.

Ano base Top-Down: setor residencial

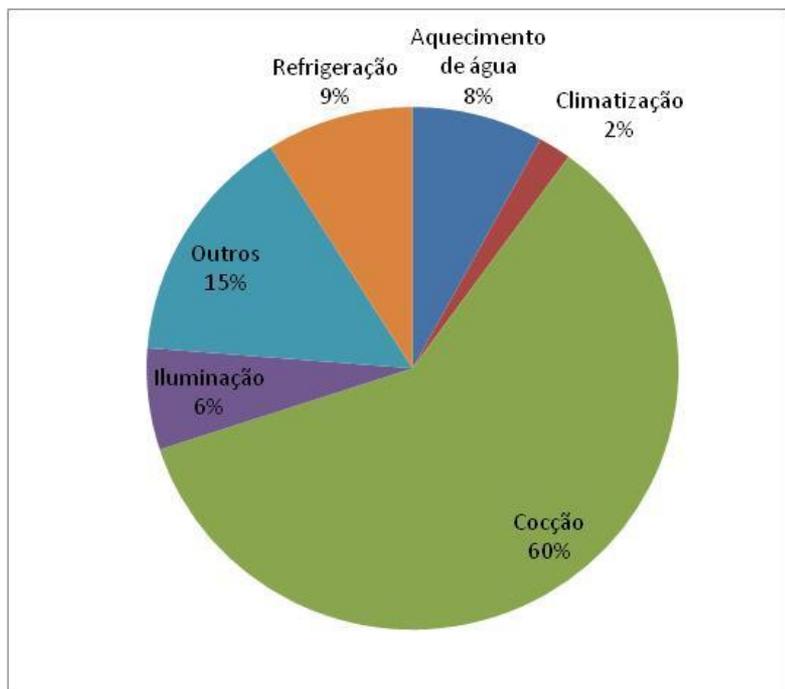
/// Fontes de Informação:

/// Procel (2005)

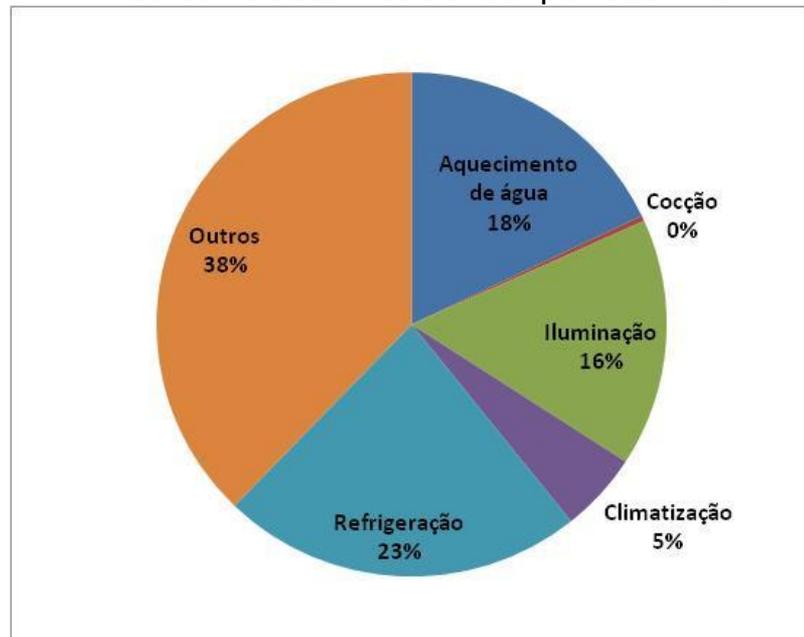
/// EPE (2014)

/// POF/PNAD - IBGE

Ano base (2010): Consumo de Energia no Setor Residencial por Uso Final

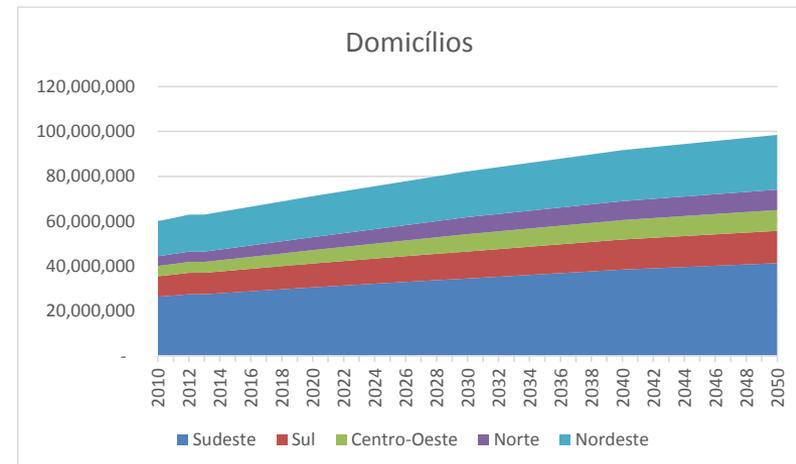
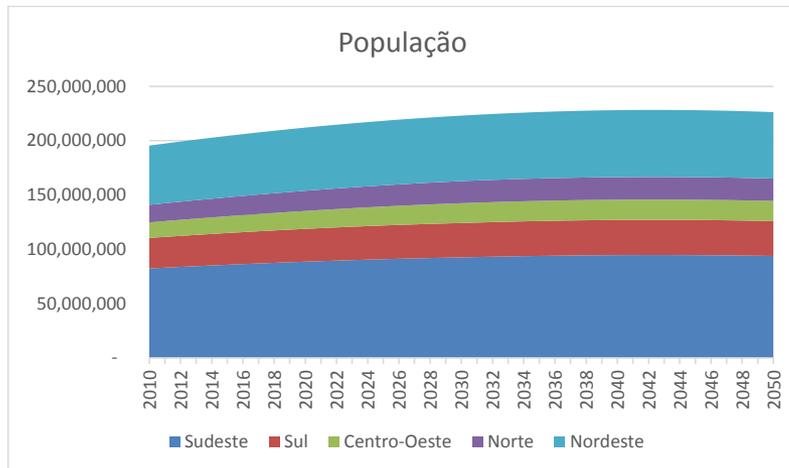


Ano base (2010): Consumo de Energia Elétrica no Setor Residencial por Uso Final



Metodologia Genérica Bottom-Up

$$\text{Consumo Energia} = \sum_{i,j} \text{Residencias}_i * \text{Posse média}_{i,j} * \text{Eficiência}_j * \text{Usos}_j$$



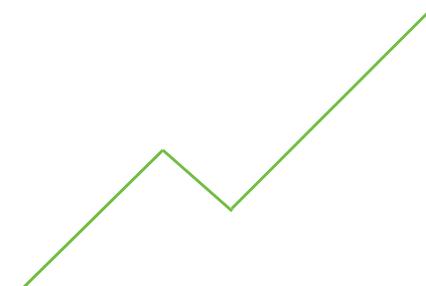
Fontes: IBGE e EPE



Cenário de Baixo carbono

/// Medidas de mitigação no Setor de Edificações

- /// Eficiência energética
- /// Mudança de combustíveis
- /// Mudanças estruturais
- /// Padrões de construção
- /// Mudanças comportamentais
- /// Geração Distribuída





Cenário de baixo carbono

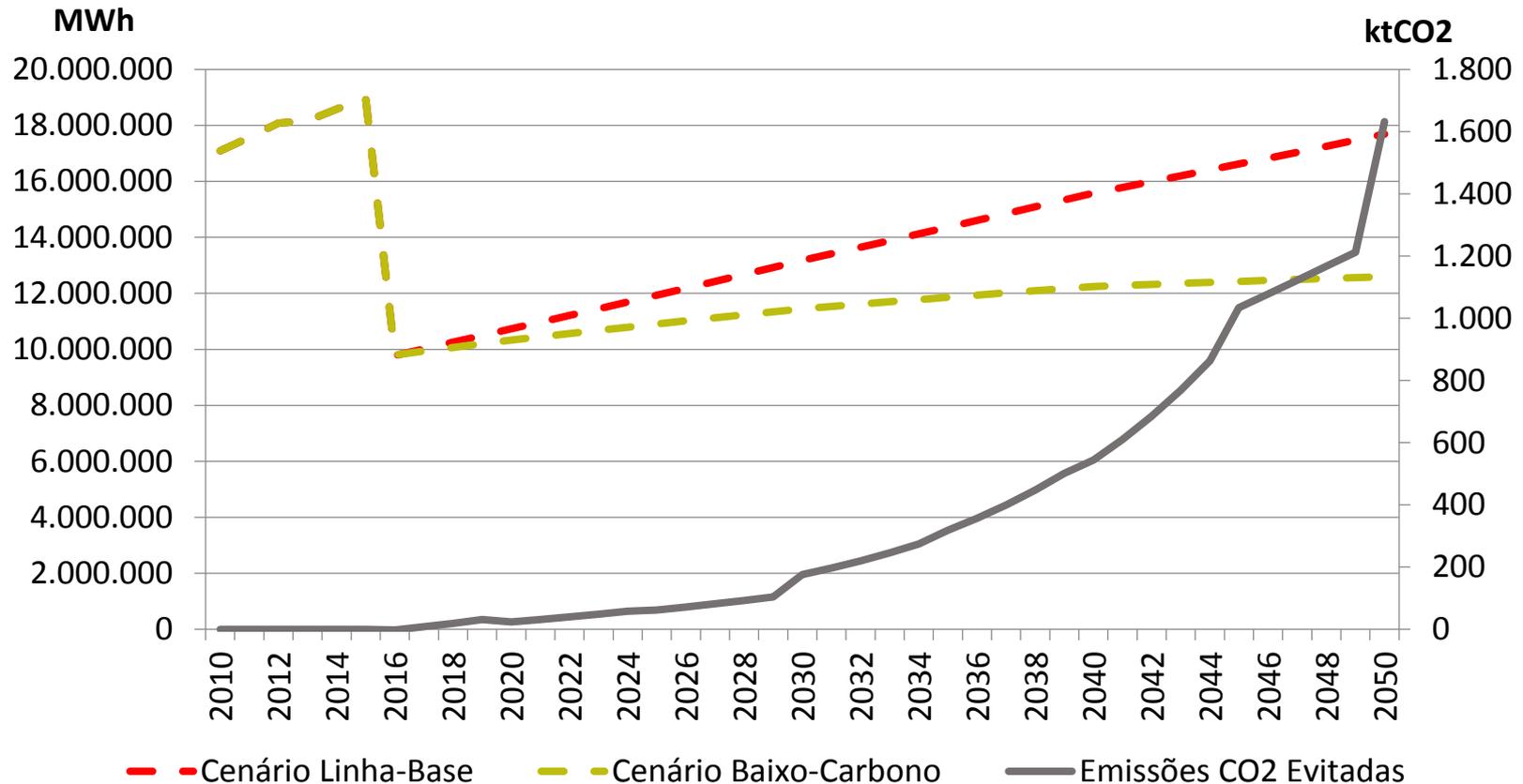
- /// É possível avaliar as seguintes opções de mitigação:
 - /// Ganhos de eficiência energética pela troca de equipamentos.
 - /// Troca de combustíveis.
 - /// Geração distribuída.

- /// O foco do cenário de baixo carbono apresentado aqui é a implementação de medidas de eficiência energética pela troca de equipamentos por melhores tecnologias disponíveis e geração distribuída.



Resultado cenário de baixo carbono

/// Exemplo: Iluminação segmento residencial





Cenário de inovação – Conceito de inovação

- /// As inovações não aparecem necessariamente para dar resposta a uma demanda específica dos consumidores.
- /// A mudança econômica é propiciada pelo produtor, que educa aos consumidores, se for o caso, a querer coisas novas, que diferem em um aspecto ou outro daquelas que tinha o hábito de usar.
- /// Classes de inovação: **a) Introdução de um novo bem ou de uma nova qualidade do bem**, b) Introdução de um novo método de produção, c) Abertura de um novo mercado, d) Conquista de uma nova fonte de insumos para a produção, e, e) Entrada de uma nova organização de qualquer indústria (Schumpeter, 1926).
- /// **Exemplo:** * Introdução de novo bem: Lâmpadas OLED e PLED em edificações de alto desempenho energético. * Novas qualidades de bens: Aprimoramento em tecnologias PV.

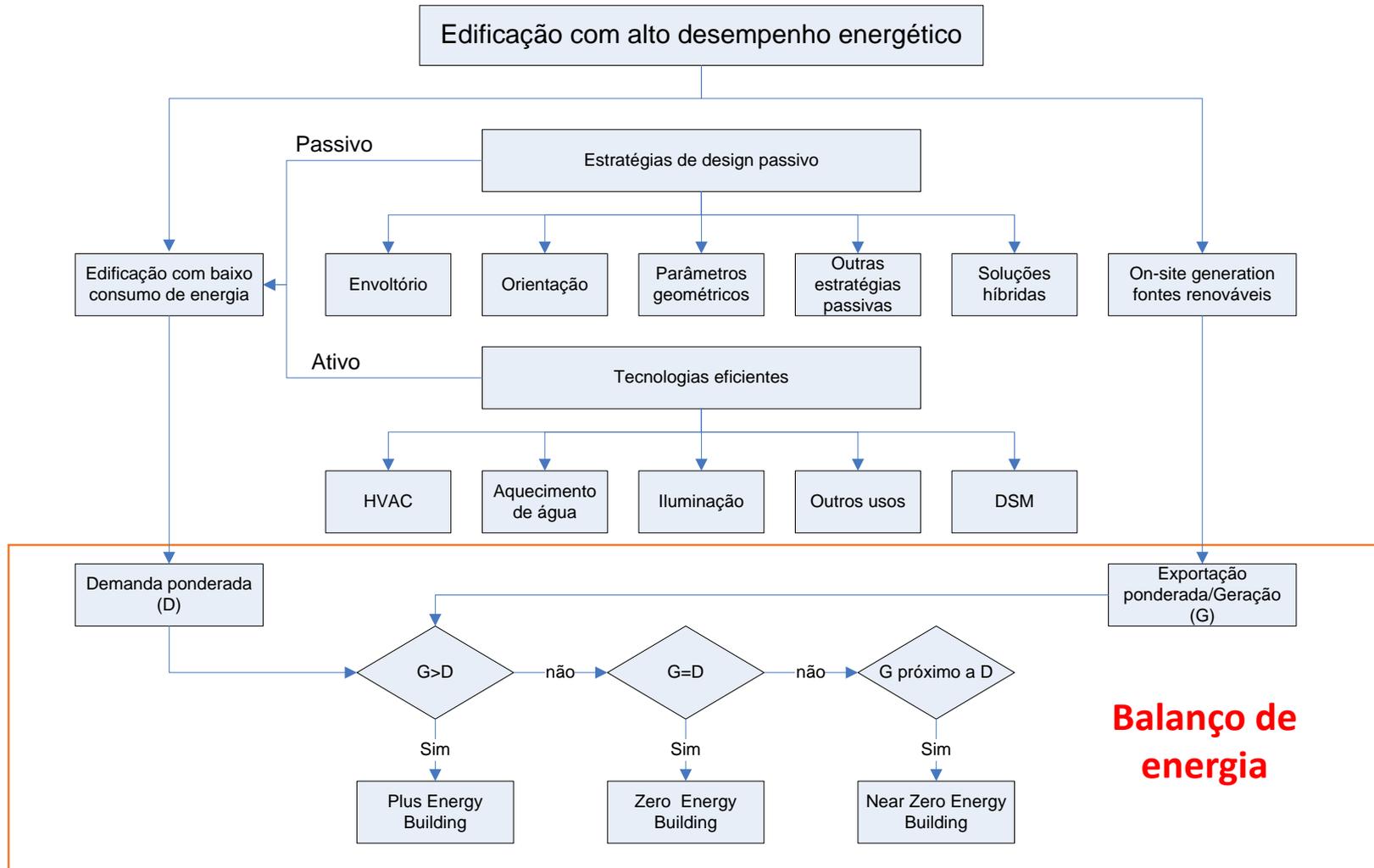


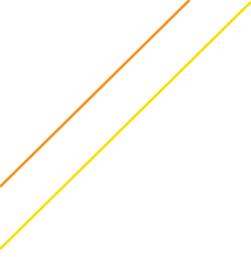
Zero Energy Buildings

- /// Para a construção do cenário de inovação se usa a definição de ZEB.
- /// No intuito de superar a dificuldade de ter uma clara definição do conceito, a EPBD definiu nZEB (*nearly ZEB*) como “Edificação com um alto desempenho energético. As quase nulas ou muito baixas quantidades de energia necessária devem ser atendidas de forma significativa por fontes renováveis, incluindo a energia renovável produzida no local ou nas proximidades”
- /// Edificação com alto desempenho energético
 - /// Perspectiva da demanda: Estratégias de design passivo, estratégias ativas, DSM.
 - /// Perspectiva da oferta: *On-site generation* com energias renováveis.



Elementos de uma edificação com alto desempenho energético





***Variáveis-chave e premissas para construção
cenários de mitigação de emissões de GEE em
edificações***





Segmentos e usos no setor de edificações

/// Segmentos do Setor de Edificações:

- /// Residencial
- /// Comercial, Serviços e Público
- /// Iluminação pública*

/// Usos Energéticos no Setor de Edificações:

- /// Iluminação
- /// Climatização
- /// Refrigeração
- /// Cocção
- /// Aquecimento de água
- /// Outros usos



Variáveis para cenários de edificações

- /// Fatores que definem o aumento no consumo de energia em edificações (drivers):
 - /// Crescimento populacional
 - /// Mudanças demográficas
 - /// Urbanização
 - /// Renda/desenvolvimento
 - /// Acesso a fontes modernas de energia
 - /// Tecnologia
 - /// Aspectos culturais e comportamentais



Variáveis para cenários de edificações

/// Cálculo do Custo de Abatimento:

/// Parâmetros técnicos:

/// Ganhos de eficiência;

/// Insumos utilizados.

/// Parâmetros econômicos:

/// Custos de investimento (equipamentos, novo sistema, nova unidade, etc);

/// Custos de operação e manutenção (fixos e variáveis);

/// Custos de combustíveis, preço eletricidade

/// Custo do carbono;

/// Receitas.

/// Parâmetros financeiros:

/// Vida útil;

/// Taxa de desconto.

/// Emissões de gases de efeito estufa (CO₂, CH₄, N₂O, etc...) evitadas.

/// Fator de emissão do grid



Premissas cenário de linha de base

- /// Evolução dos *drivers* conforme a evolução esperada
 - /// População
 - /// Renda
 - /// Urbanização
 - /// Etc.
- /// Evolução de posse, uso e eficiência de equipamentos tendencial
- /// Ganhos de eficiência esperados
- /// Reposição da frota de equipamentos sucateada por tecnologias similares



Premissas cenário de baixo carbono

- /// Manutenção dos *drivers*
- /// Considera-se que as demandas por serviços energéticos são iguais nos cenários de linha de base e baixo carbono, mudando apenas as tecnologias de uso final que estão disponíveis para atender essas demandas.
- /// A adoção de tecnologias de baixo carbono até o ano de 2015 é considerada fixa
- /// Evolução conforme o potencial de penetração dado pelo sucateamento da frota de equipamentos projetados na linha de base



Premissas cenário de baixo carbono

/// Taxa de desconto: As medidas de abatimento de emissões implicam em investimentos correntes e retornos (ou custos) futuros, que devem ser trazidos a valor presente para fins de comparação.

/// Setor residencial

/// Potencial de mercado: 65,4% a.a.

/// Potencial econômico = 45% x Potencial de mercado

/// Taxa de inflação: 4,5%

/// Valor da taxa real de desconto: 23,85% a.a.

/// Setor comercial/serviços

/// Potencial de mercado: 16,15% a.a.

/// Potencial econômico = 90% x Potencial de mercado

/// Taxa de inflação: 4,5%

/// Valor da taxa real de desconto: 9,6% a.a.



Premissas cenário de baixo carbono

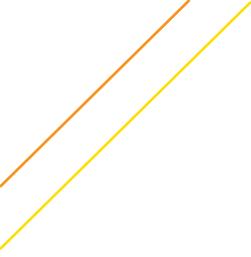
/// Setor público

- /// Dificuldade em considerar diferenças entre potencial econômico e potencial de mercado.
- /// Pode-se adotar como referência para o cálculo da taxa de desconto do setor público os critérios de indexação da dívida de Estados e Municípios junto ao governo federal: 4,00% a.a.



Premissas cenário de inovação

- /// Neste cenário o custo não pode ser estimado dado que as tecnologias levadas em consideração ainda estão em desenvolvimento, portanto existe incerteza na evolução dos custos e na taxa de aprendizagem.
- /// As novas edificações do Brasil alcançaram o conceito de ZEB.
- /// O governo especificaria uma Lei similar às estabelecidas nos Estados Unidos e na Europa para a próxima década.
- /// Em 2025 o governo brasileiro instauraria a Lei de ZEB e que esta entraria em vigor 10 anos depois, ou seja, em 2035. Nesse sentido, as novas residências a partir do ano 2035 deverão, obrigatoriamente, não consumir energia do grid.



Técnicas para cálculo do custo marginal de abatimento





Metodologia Geral

/// Metodologia *Bottom-up* geral:

$$\text{Consumo Energia} = \sum_{i,j} \text{Residências}_i * \text{Posse média}_{i,j} * \text{Eficiência}_j * \text{Uso}_j$$

Em que i representa as regiões e j o de equipamento

/// Custo marginal de abatimento de emissões de GEE de um projeto, por definição, é a diferença entre o custo existente no cenário de referência e o custo no cenário com mitigação ou de baixo carbono, expresso monetariamente por unidade de massa de CO₂ equivalente (US\$ ou R\$/tCO₂e)

$$CO_2e = \frac{C_k - C_{ref}}{E_{CO2ref} - E_{CO2k}}$$

Onde:

- CO_2 Custo de abatimento de CO₂e (US\$/k CO₂e)
- C_k Valor presente do custo da medida de mitigação k (US\$)
- C_{ref} Valor presente do custo da linha de base (US\$)
- E_{CO2ref} Quantidade de CO₂e emitida na linha de base
- E_{CO2k} Quantidade de CO₂e emitida considerando a medida de mitigação k .



Metodologia Geral

/// Procedimento metodológico

1. Definição do período de análise e da linha de base;
2. Levantamento das opções de baixo carbono e seus custos;
3. Identificação do potencial de penetração das opções de baixo carbono;
4. Cálculo dos custos de abatimento das opções de baixo carbono em relação às tecnologias de linha de base;
5. Cálculo do potencial de abatimento com base na penetração de tecnologias de baixo carbono frente à linha de base;
6. Cálculo do custo de abatimento por unidade de CO₂e abatida (USD/tCO₂e).



Resultados - Interpretação

/// Curva de Custo Marginal de Abatimento:

/// Curva que elenca as opções de mitigação por ordem crescente de custo, considerando seus respectivos potenciais.

/// Limitações

/// Considera apenas opções disponíveis no momento

/// Emissões acumuladas no período – ausência de representação dinâmica

/// Não diz quando é melhor adotar uma determinada medida

/// Não considera interação entre medidas, tampouco entre setores



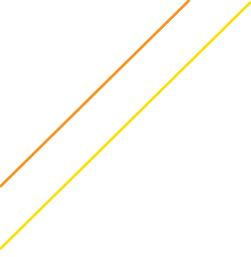
Considerações

- /// Medidas de abatimento no setor de edificações possuem, em geral, um custo alto e um potencial limitado:
 - /// Emissões indiretas – fator de emissão do grid
 - /// Altas taxas de desconto
 - /// Fator de utilização baixo
- /// Abordagem setorial – não permite ver interações entre medidas de diversos setores
- /// Avaliação de energia média e não potência. Necessário modelo de operação para avaliar medidas de gerenciamento de carga.
- /// Não obstante, os custos das medidas no setor de edificações são dispersos entre vários agentes, reduzindo o fardo de investimentos de grande porte.



Barreiras a medidas de mitigação em edificações

- /// Há grandes barreiras à penetração de medidas de abatimento no setor de edificações
- /// Heterogeneidade e fragmentação do setor
- /// Informação imperfeita
- /// Custos de transação
- /// Altas taxas de desconto/ falta de acesso a financiamento
- /// Subsídios energéticos
- /// Problema agente-principal
- /// Etc.



Técnicas para cálculo do custo marginal de abatimento:

EXEMPLO 1 - Iluminação



$$CO_2e = \frac{C_k - C_{ref}}{E_{CO2ref} - E_{CO2k}}$$

Onde:

C_{CO_2} Custo de abatimento de CO_{2e} (US\$/k CO_{2e})

C_k Valor presente do custo da medida de mitigação k (US\$)

C_{ref} Valor presente do custo da linha de base (US\$)

E_{CO2ref} Quantidade de CO_{2e} emitida na linha de base

E_{CO2k} Quantidade de CO_{2e} emitida considerando a medida de mitigação k .

/// Exemplo: Troca de lâmpada fluorescente compacta por LED

/// 1. Cálculo do valor presente do custo da linha de base (US\$)

$$C_{ref} = \frac{\text{Custo tecnologia base } \left(\frac{\text{USD}}{\text{lâmpada FC}} \right)}{(1 + tx \text{ desconto})^t} + \frac{\text{Consumo de energia } \left(\frac{\text{MWh}}{\text{lâmpada FC}} \right) * P_e \left(\frac{\text{USD}}{\text{MWh}} \right)}{(1 + tx \text{ desconto})^t}$$

CAPEX **OPEX**

/// 2. Cálculo das emissões da linha de base (tCO₂)

$$ECO_{2\text{ ref}} = \text{Consumo de energia} \left(\frac{\text{MWh}}{\text{lâmpada FC}} \right) * \text{Fator de emissão} (\text{tCO}_2/\text{MWh})$$

/// 3. Cálculo do valor presente do custo da medida de mitigação (US\$)

$$C_k = \frac{\text{Custo tecnologia base} \left(\frac{\text{USD}}{\text{lâmpada LED}} \right)}{(1 + tx\ desconto)^T} + \frac{\text{Consumo de energia} \left(\frac{\text{MWh}}{\text{lâmpada LED}} \right) * P_e \left(\frac{\text{USD}}{\text{MWh}} \right)}{(1 + tx\ desconto)^T}$$

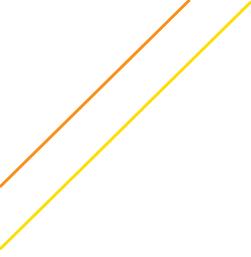
/// 4. Cálculo das emissões da medida de mitigação (tCO₂)

$$ECO_{2k} = \text{Consumo de energia} \left(\frac{\text{MWh}}{\text{lâmpada LED}} \right) * \text{Fator de emissão} (\text{tCO}_2/\text{MWh})$$

- /// 5. Cálculo do delta de custo $(3) - (1)$
- /// 6. Cálculo do delta de emissões $(4) - (2)$
- /// 7. Cálculo do custo de abatimento $(5)/(6) \rightarrow \text{USD/tCO}_2$

Atenção!

- /// Podem ser feitas análises de sensibilidade mudando a taxa de desconto, os preços da eletricidade, o fator do grid, o custo das tecnologias.



Obrigado!

andrelucena@ppe.ufrj.br

