



*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

GESTÃO DE RESÍDUOS

Luiz Gustavo S. de Oliveira

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.



PARTE I – INTRODUÇÃO

- Visão geral dos treinamentos anteriores

PARTE II – CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS

- Objetivos da análise de cenários
- Tipos de cenários (linha de base, referencial, baixo carbono e baixo carbono com inovação)
- Variáveis para construção de cenários

PARTE III – INOVAÇÃO E APRENDIZADO TECNOLÓGICO

- Conceitos básicos de inovação (Inovação, Difusão, aprendizado tecnológico)
- Sistemas de Inovação (visão sistêmica x linear)
- Construção de curvas de aprendizado tecnológico

PARTE IV – CUSTO MARGINAL DE ABATIMENTO DE GEE E INTERPRETAÇÕES

- Metodologia de cálculo
- Variáveis e interpretações
- Exemplos



PARTE I – INTRODUÇÃO

*Visão geral dos treinamentos
anteriores*



Visão geral dos treinamentos anteriores

■ Primeiro treinamento

- Caracterização do setor
- Descrição tecnológica das melhores práticas de abatimento de emissões de GEE
- Cálculo do custo marginal de Abatimento

■ Segundo treinamento

- Teoria dos Cenários (definições, usos, tipos, objetivos)
- Variáveis para cenários de gestão de resíduos



PARTE II – CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS

- Objetivos da análise de cenários*
- Tipos de cenários*
- Variáveis para construção de cenários*

Objetivos da análise de cenários

O que são cenários?

Peter Schwartz (1991)	A tool for ordering one's perceptions about future environments in which one's decision might be played out ... Scenario planning is about making choices today with an understanding of how they might turn out
Diana Scearce, Katherine Fulton and GBN (2004)	Scenarios are designed to stretch our thinking about the opportunities and threats the future might hold, and to weigh those opportunities and threats carefully when making both short-term and long-term strategic decisions
Pierre Wack (1985b)	Do they lead to action? If scenarios do not push managers to do something other than that indicated by past experience, they are nothing more than interesting speculation
Michel Godet (1987)	The future is an emerging landscape with unknown contours; the constraint is that, despite the unknown horizons, we have to take decisions today that commit us for the future. Even if the information is degraded we have to place our bets now, to create the future rather than submit to it.
Herman Kahn and Anthony Wiener (1967)	Scenarios are attempts to describe in some detail a hypothetical sequence of events that could lead plausibly to the situation envisaged... By the use of a fairly extensive scenario, the analyst may be able to get a feeling for events and the branching points dependent upon critical choices.

Fonte: Hughes, 2009

Table 1: Definitions and discussions of scenarios- the link to near term action

Objetivos da análise de cenários

O que são cenários?

Hughes and Strachan (2010) -> *cenário como o uso da imaginação para avaliar situações futuras evoluindo do presente para que as decisões possam ser melhores informadas e decididas, enquanto o futuro ainda continua incerto e não decidido*

Objetivos da Análise de Cenários

Hughes and Strachan (2010) mencionam que o principal objetivo de utilizar cenários é melhorar a capacidade de decisão sobre o futuro

Amer et al., 2013; Varum and Melo, 2010 -> exercícios de avaliação de condições futuras, e condições futuras são pautadas por elevado grau de incerteza, avaliar possibilidades de impactos e de condições futuras a partir de determinadas decisões de modo a evitar condições indesejáveis

Objetivos da análise de cenários

Usos das análises de cenários

- Tomada de decisão defensiva (ou preventiva) - objetiva melhor preparo para as condições incertas do futuro, aumentar robustez perante condições adversas.
- Tomada de decisão proativa (ou preventiva) - permitir a identificação de oportunidades de influenciar e determinar as condições futuras.
- Criação de consenso - promover a interação entre diferentes grupos de atores de maneira que seja definida um caminho comum.

Hughes and Strachan (2010)

Objetivos da análise de cenários

Tipos de Cenários

- Cenários preditivos - tem como principal característica responder a pergunta, *o que acontecerá?* O principal objetivo é a projeção (previsão) de uma situação futura para melhor se adaptar a ela. Essas projeções são baseadas na em sistemas que consideram que os sistemas de decisões atuais e históricas serão mantidas.
 - a) Cenários de projeções -> nesse cenário as projeções são realizadas considerando que os eventos *mais prováveis* irão acontecer.
 - b) Cenários *what-if* -> nesse cenário as projeções são realizadas considerando o acontecimento de alguns *eventos específicos*.
Börjeson et al. (2006)

Objetivos da análise de cenários

Tipos de Cenários

- Cenários exploratórios - a principal que é respondida por esse tipo de cenário é, *o que pode acontecer?* O principal objetivo desse tipo de cenário é investigar os impactos de situações que são possíveis de se desenvolverem no futuro.
 - a) Cenários externos -> nesse cenário são investigados *fatores que estão além do controle do usuário* do cenário. Usualmente utilizados para estratégias de planejamento
 - b) Cenários estratégicos -> nesse cenário *medidas específicas são testadas* de acordo com o usuário do cenário. Essas medidas, geralmente, são de caráter interno ao usuário.
- Börjeson et al. (2006)

Objetivos da análise de cenários

Tipos de Cenários

– Cenários normativos - tem como principal objetivo responder a pergunta, como determinado objetivo pode ser atingido? O foco desses cenários são condições futuras específicas e quais são os meios para que essas condições futuras se desenvolvam.

a) Cenários de manutenção -> nesse cenário condições futuras são definidas e o meios até esta são analisado na forma de *ajustes na atual situação*.

b) Cenários de transformação -> nesse cenário condições futuras são definidas e o meios até esta são analisado de forma que sejam identificadas *quais são as transformações necessárias na situação atual*.
Börjeson et al. (2006)

Objetivos da análise de cenários

Construção de Cenários

Hughes and Strachan (2010) apresentam somente cinco passos metodológicos:

- Identificação do usuário e outros atores relevantes (e respectivas capacidades de influencia e relações entre os mesmos);
- Definir base do cenário no presente com identificação de conexões com o futuro;
- Desafiar visões pré-estabelecidas;
- Uso integrado de análise qualitativas e quantitativas;
- Comunicação dos cenários com usuários potenciais para a aprimorar o entendimento do futuro.



Tipos de cenários

■ REFERÊNCIA

Cenário no qual as condições atuais são mantidas e extrapoladas para o horizonte de análise (Não quer dizer não evolução das condições iniciais, iniciais, mas sim que há manutenção das tendências atuais).

■ LINHA DE BASE

Cenário no qual são definidas as condições futuras a partir de premissas premissas (Pode ser igual ao cenário de referência, mas não necessariamente).

■ BAIXO CARBONO

Cenário alternativo em que o objetivo é analisar quais são as decisões, e e seus impactos (principalmente custos e barreiras) de maneira a minimizar minimizar as emissões de GEE

■ BAIXO CARBONO COM INOVAÇÃO

Cenário em que são analisadas determinadas condições não estabelecidas no estabelecidas no cenário de referência ou linha de base (Em geral são definidas condições avaliando questões de inovações e difusão tecnológica)

Variáveis para construção de cenários

Escolha das Trajetórias e Construção do Discurso

■ Premissas gerais e narrativas

➤ Caracterização do setor

- Interação com outros setores -> levantamento de quais são as informações necessárias de outros setores: PIB, população, renda, produção agropecuária, industrial, etc.
- Definição do quadro legal e regulatório -> estabelecer situação atual e perspectivas futuras de evolução.
- Identificação dos principais atores e instituições -> fundamental para entender a dinâmica futura e estimar premissas como: taxas de retorno, perfil de decisões, resistência a entrada de novas tecnologias, etc.

➤ *Definição de fronteiras e escopos de análise*

- Horizonte de análise -> definir o prazo da análise, 2030, 2035, 2050.
Quanto maior o horizonte de análise maior a incerteza nos resultados, devido a maior árvore de decisões (implica nas metodologias e ferramentas de construção do cenário)
- Regionalização -> local, municipal, estadual, regional, nacional, internacional.
Quanto mais especificado maior a necessidade de dados, com qualidade (também implica em quais metodologias são as mais adequadas).

Variáveis para construção de cenários de Gestão de Resíduos

Projeção dos Resíduos

- **Produção e Composição de Resíduos Sólidos Urbanos**
 - Depende da regionalização e horizonte
 - Análise do histórico (evolução da produção per capita)
 - Definição da evolução de práticas de consumo que influenciem produção de resíduos
 - Definir metodologias de cálculo -> Projeções utilizando regressão e extrapolação da tendência histórica ou correlação com dados externos e construção de evolução seguindo exemplos externos
 - Em cenários de linha de base e referência não são esperadas grandes mudanças
 - Cenários de baixo carbono podem testar mudar comportamentais que influenciam a produção de resíduos, porém o comum é a análise de medidas de abatimento
 - Cenários de baixo carbono com inovação, em geral, analisam medidas tecnológicas

Variáveis para construção de cenários de Gestão de Resíduos

Projeção dos Resíduos

■ **Produção e Composição de Efluentes**

- Regionalização e horizonte de análise
- Análise do histórico (evolução da produção per capita)
- Determinar evolução da infraestrutura
- Definir parâmetros de comportamento do consumo
- Definir metodologia de projeção
- Em cenários de linha de base e referência não são esperadas grandes mudanças
- Cenários de baixo carbono podem testar mudar comportamentais que influenciam a produção de resíduos, porém o comum é a análise de medidas de abatimento
- Cenários de baixo carbono com inovação, em geral, analisam medidas tecnológicas

Variáveis para construção de cenários de Gestão de Resíduos

Projeção dos Resíduos

■ **Produção de Resíduos Agropecuária**

- Depende da regionalização, horizonte e evolução da dinâmica de expansão agropecuária
- Análise do histórico (evolução da produção específica)
- Definição e seleção dos fatores de produção de resíduos (tonelada de resíduo por tonelada de produção e quilo de esterco por animal dia)
- Definição dos critérios de disponibilidade
- Definição da metodologia de cálculo (muito dependente da atividade agropecuária e respectivas variáveis: produtividade, agrodinâmica, confinamento, mecanização, etc)
- Em cenários de linha de base e referência não são esperadas grandes mudanças
- Cenários de baixo carbono podem ter como consequência mudanças consideráveis na produção de resíduos. Depende das condições de baixo carbono do setor agropecuário (exemplo: plantio direto e confinamento)
- Cenários de baixo carbono com inovação, assim como o anterior, depende do cenário do setor agropecuário. Diferentes caminhos tecnológicos podem ter como consequência diferentes produções e aproveitamento de resíduos.

Variáveis para construção de cenários de Gestão de Resíduos

Projeção das matrizes de tratamento de resíduos

■ **Premissas genéricas**

- Definição da regionalização e horizonte
- Análise do histórico e elaboração de base de dados (estrutura atua, projetos em andamento, questões regulatórias e legais)
- Análise das perspectivas (evolução de custos, evolução das condições legais e regulatórias)
- Definições das restrições (capacidade de construção e fornecimento, desenvolvimento tecnológico, restrições legais, emissões, etc)
- Identificação de barreiras e outros possíveis entraves
- Identificar decisões chave e atores necessários.
- Identificar interações externas ao setor
- Evolução das condições de financiamento
- Definir metodologias de cálculos (otimização, multi critério, fuzzy, Analytic Hierachy Process, regressão, etc)

Variáveis para construção de cenários de Gestão de Resíduos

Projeção das matrizes de tratamento de resíduos

■ **Matriz de tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos**

- Definição dos critérios de disposição final em solo (lixões e aterros)
- Evolução de práticas alternativas (incineração, compostagem, biodigestão anaeróbica)
- Evolução de taxas de atendimento
- Evolução de práticas de coleta seletiva, segregação e reciclagem (com análise de custos, conhecimento necessários, decisões necessárias e agentes importantes)
- Evolução das interações entre os diferentes agentes da cadeia de tratamento de resíduos (catadores, cooperativas, empresas de tratamento, órgãos de licenciamento, prefeituras, etc)
- Análise de arranjos comerciais e regulatórios (consórcios por exemplo)
- Em cenários de linha de base não há grandes desafios em relação às visões estabelecidas no setor
- Cenários de baixo carbono atribuem restrições de emissões de GEE, modificando a dinâmica de relações e decisões do setor
- Cenário de baixo carbono com inovação considera diferentes evoluções nas tecnologias alternativas de tratamento



Variáveis para construção de cenários de Gestão de Resíduos

Projeção das matrizes de tratamento de resíduos

■ **Matriz de tratamento de Efluentes**

- Definição dos critérios de evolução de atendimento do sistema atual (coleta e tratamento)
- Evolução de práticas alternativas (aproveitamento de biogás, biodigestão de lodos, e respectivo lock-in)
- Evolução das interações entre os diferentes agentes da cadeia de tratamento
- Análise de arranjos comerciais e regulatórios
- Em cenários de linha de base não há grandes desafios em relação às visões estabelecidas no setor
- Cenários de baixo carbono atribuem restrições de emissões de GEE, modificando a dinâmica de relações e decisões do setor
- Cenário de baixo carbono com inovação considera diferentes evoluções nas tecnologias alternativas de tratamento, desafiando o grande lock-in do setor

Variáveis para construção de cenários de Gestão de Resíduos

Projeção das matrizes de tratamento de resíduos

▪ **Matriz de tratamento de Resíduos da Agropecuária**

- Definição dos critérios de disposição final com mapeamento de custos de oportunidade (funções agronômicas, outros mercados, etc)
- Mapeamento dos resíduos e respectivos fatores de produção específica (bem como evoluções dos mesmos)
- Evolução de práticas alternativas (biodigestão, aproveitamento energético, etc)
- Evolução das interações entre os diferentes agentes da cadeia de tratamento de resíduos (produtores, operadores logísticos, empresas de engenharia, etc)
- Análise de arranjos comerciais e regulatórios (consórcios por exemplo)
- Cenários de linha de base como poucas alterações em relação ao mapa de decisões atual, devido à grande inércia do setor.
- Cenários de baixo carbono seguem as principais consequências do setor agropecuário
- Cenários de baixo carbono com inovação testam evoluções tecnológicas mais ousadas e diferentes estruturas de decisões

Variáveis para construção de cenários de Gestão de Resíduos

Projeção do consumo energético

■ **Resíduos Sólidos Urbanos**

- Como o principal insumo energético é o diesel na coleta e no transporte dos resíduos, algumas variáveis são importantes
 - Composição e tamanho das frotas.
 - Consumos específicos (l/km).
 - Operação anual (km/ano).
- Caso haja disponibilidade de dados (novamente depende das fronteiras de análise) a abordagem bottom-up é a mais precisa. Contudo, a abordagem híbrida é preferida quando não há disponibilidade total de dados e uma análise mais agregada é realizada. Nesse caso, a composição da frota e tamanho da frota seria definidos através de indicadores top-down e o consumo específico e a operação anual como variáveis bottom-up.

■ **Efluentes**

- O principal consumo energético do tratamento de efluentes reside no consumo de eletricidade para os sistemas de bombeamento
- Segue a mesma lógica dos setores de RSU, dependendo da disponibilidade de dados (e fronteira de análise) para definição da metodologia.
- Variáveis bottom-up -> quantidade de bombas, potências, horas de operação, eficiências, etc.
- Variáveis top-down -> consumo de energia elétrica por m³ efluente tratado, para uma determinada região ou sistema de tratamento



Variáveis para construção de cenários de Gestão de Resíduos

Projeção do consumo energético

■ **Resíduos da Agropecuária**

- O consumo de energia no tratamento dos resíduos da agropecuária é bastante inferior aos demais segmentos, contudo os principais sistemas são:
 - Coleta mecanizada de resíduos agrícolas -> consumo de óleo diesel - variáveis bottom-up (quantidades de máquinas, consumos específicos, horas de operação), indicadores top-down (consumo de óleo diesel por tonelada de resíduo tratado)
 - Sistemas de bombeamento de resíduos da pecuária -> consumo de eletricidade - variáveis bottom-up (quantidades de bombas, horas de operação e potências), indicadores top-down (consumo de eletricidade por tonelada de resíduo tratado)
- Novamente, a definição de qual metodologia adotar depende da fronteira de análise e da disponibilidade de dados.

Variáveis para construção de cenários de Gestão de Resíduos

Projeção das emissões de GEE

- Uma vez que os dados anteriores tenham sido modelados, deve-se:
 - Definir quais emissões serão tratadas -> depende dos dados modelados anteriormente e do objetivo da análise.
 - Definir qual o escopo e metodologia de cálculo para essas emissões -> basicamente seguir os manuais de contabilização de emissões de acordo com a disponibilidade de dados da análise – Guidelines do IPCC e Inventários Nacionais

- **Resíduos Sólidos Urbanos**
- Disposição no solo – emissões de metano
 - Definição da composição do material disposto
 - Definição de ano base -> dado que as emissões de metano da disposição em solo de matéria orgânica tem grande impacto nos 10 primeiros anos, é fundamental que haja dados anteriores ao ano base modelado.
 - Clima -> a decomposição da matéria orgânica ocorre de maneira diferente de acordo com a temperatura e umidade local

Variáveis para construção de cenários

Projeção das emissões de GEE

■ Resíduos Sólidos Urbanos

- Disposição no solo
 - Fator de Correção de Metano -> Corrige o valor de produção teórica de acordo com a especificidade do site em que ocorre as emissões, devido a não decomposição anaeróbica de anaeróbica de toda matéria orgânica. Os principais caso são: aterros sanitários (1), aterros controlados (0,5 a 1), “lixões” (0,4)
 - Fator de Oxidação -> considera uma determinada oxidação do metano devido a camada de cobertura dos resíduos.
- Incineração - Emissões de metano, óxido nitroso e dióxido de carbono
 - Definição da composição do resíduo incinerado -> principalmente o conteúdo de carbono fóssil
 - Definição da tecnologia e esquema de combustão -> de acordo com o esquema tecnológico (queima aberta, com ou sem recuperação energética, grelha fixa, leito fluidizado, fluidizado, regime contínuo, batelada, ec.) diferentes fatores de emissões são empregados
- Biodigestão - emissões de metano
 - Quantidade de matéria seca e úmida -> fatores diferentes
 - Degradação do biogás -> queima em flare
 - Uso do biogás - Caso haja uso energético do biogás, definir mitigação de emissões
- Compostagem - emissões de metano e de óxido nitroso

Variáveis para construção de cenários

Projeção das emissões de GEE

▪ Efluentes

- Efluentes domésticos e industriais- emissões de metano e óxido nitroso
 - Matriz de tratamento muito importante (% tratado e não tratado, tipos de tratamento, tratamento, centralizado, fossas, aeróbico, anaeróbico)
 - Recuperação e degradação do biogás -> quanto do biogás produzido é recuperado e recuperado e degradado
 - Usos do biogás -> quanto do biogás é recuperado e utilizado energeticamente, quantificar mitigação de emissões e possíveis interações Inter setoriais
 - Definição do fator de correção de metano -> quando não há uma matriz de tratamento tratamento muito especificada, ou quando há caso com dados específicos, a definição definição desse fator pode não ser trivial. Pode haver necessidade de trabalhar com com dados médios agregados.

▪ Resíduos da Agropecuária

- Resíduos Agrícolas - emissões de metano e óxido nitroso
 - Definir % queimado e tipo de queima -> principais emissões de resíduos agrícolas dizem agrícolas dizem respeito a queima não controlada destes resíduos

Variáveis para construção de cenários de Gestão de Resíduos

Projeção das emissões de GEE

■ Resíduos da Agropecuária

- Resíduos da Pecuária - emissões de metano e óxido nitroso
 - % dos resíduos com tratamento ou decomposição anaeróbica -> emissões de metano diretamente relacionadas, também muito ligado ao tipos de criação dos rebanhos
 - Emissões dependentes do clima -> condições da decomposição anaeróbica
 - Tipos de rebanho/resíduos -> os fatores e a forma de degradação variam de acordo com cada rebanho
 - % de nitrogênio nos resíduos e tipos de tratamentos
 - Interação com as emissões de nitrogênio de solo.

Variáveis para construção de cenários

Projeção das emissões de GEE

- **Quantificar total de emissões de cada cenário de acordo com a fronteira estabelecida**
 - Quantificar de acordo com o objetivo estabelecido.
 - Atentar para casos de interação com outros setores: consumo energético, transporte, agropecuária.
- **Análise de Comparação**
 - Verificar emissões abatidas e custo adicional dos diferentes cenários analisado em relação a relação a linha de base ou referência
 - Identificação de recursos extras
- **Parâmetros de saída e resultados**
 - Parâmetros em linha com os objetivos e resultados esperados, em geral são:
 - Cálculo dos custos marginais de abatimento
 - Identificação das principais decisões
 - Identificação das medidas mais impactantes
 - Identificação das possíveis barreiras e pontos de atuação



PARTE III – INOVAÇÃO E APRENDIZADO TECNOLÓGICO

- Conceitos básicos de inovação*
- Sistemas de Inovação*
- Construção de curvas de aprendizado tecnológico*

Conceitos básicos de inovação

■ O que é inovação?

- Rogers (1962) defini inovação como uma ideia, prática ou que é percebida como nova por um indivíduo ou outro tipo de adotante.
- Inovação se diferencia de invenção por conta da adoção (difusão) em larga escala

■ O que é difusão?

- Processo em que uma inovação é comunicada através de certos canais ao longo do tempo e entre membros de um sistema social
- Inovação, canais, horizonte de tempo e sistema social são os elementos fundamentais do processo de difusão

Conceitos básicos de inovação

■ O que é aprendizado tecnológico?

- Processo de interação dentro de um sistema de inovação em que atores através de processos de produção de difusão de conhecimento (como projetos P&D) aprendem determinado tópico específico (desde de desenvolvimentos tecnológicos per se até processos relativos a implantação e operação) e melhoram a performance desse sistema de inovação (Smit et al., 2007)
- Abordagem empírica em que quanto maior produção de determinada tecnologia menor o custo de produção desta, conceito diretamente ligado às curvas de aprendizado tecnológico (Junginger et al., 2006)

Conceitos básicos de inovação

■ Processos de aprendizado tecnológico

- *learning-by-searching*, principalmente guiado por atividades de P&D;
- *learning-by-doing*, consequência da repetição da produção de determinada tecnologia;
- *learning-by-using*, ocorre quando a tecnologia é posta em prática e há feedback sobre seu uso;
- *learning-by-interacting*, aprendizado relativo ao processo de difusão da tecnologia e respectivas interações em determinada rede ou sistema;
- *upsizing (ou downsizing)* aprendizado devido a mudança de escala da tecnologia;
- Economias de escalas, aprendizado devido a produção em massa

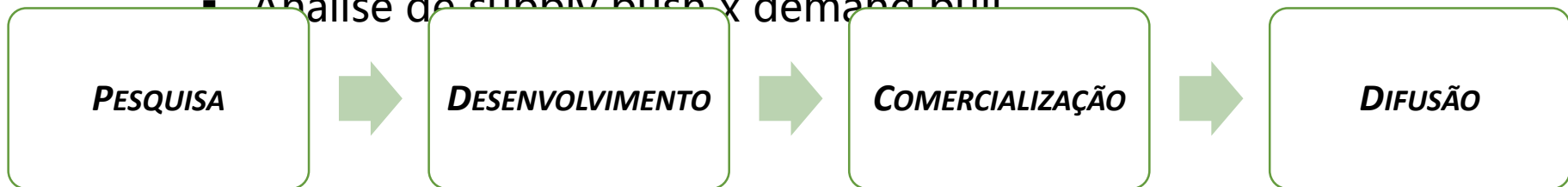
(Junginger et al., 2006)

Sistemas de inovação

■ Processos de Inovação

- Modelo Linear de Inovação

- Modelo simplificado do processo de criação e difusão de uma inovação específica (por volta de 1945)
- Fácil compreensão
- Grande impacto em estratégias corporativas e políticas públicas
- Análise de supply push x demand pull



Godin,
2014



Sistemas de inovação

- **Processos de Inovação**
 - Modelo Sistêmico de Inovação
- Baseados na teoria de instituições e economia evolucionária
- Evidencia condições sócio-institucionais em que os empreendedores e outros agentes operam
- Evidencia os múltiplos fatores para que ocorra inovação (não somente P&D e pressão da demanda)
- Evidencia as interações durante os processos de inovação
- Muda o paradigma de elaboração de políticas públicas (falhas de mercado X falhas sistêmicas)



SYSTEM INNOVATION:
SYNTHESIS REPORT



Sistemas de inovação

■ Processos de Inovação

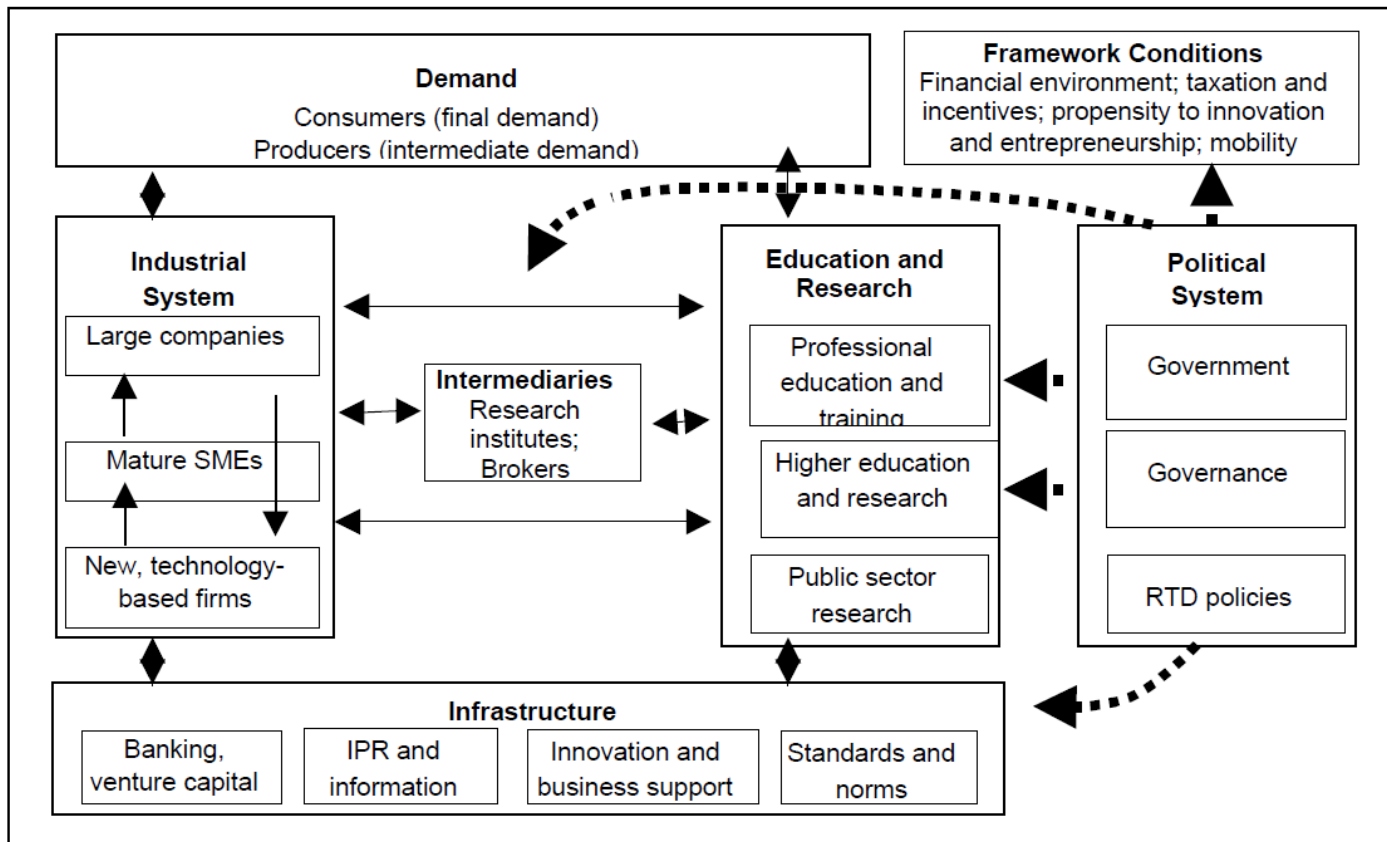
- Modelo Sistêmico de Inovação

- Diferentes tipos de sistemas de inovação
 - Sistema Nacional de Inovação – NIS (Freeman, 1987)
 - Sistema Regional de Inovação – RIS (Cooke, 1997)
 - Sistema Setorial de Inovação – SIS (Malerba, 2002)
 - Sistema Tecnológico de Inovação – TIS (Carlson e Stankiewicz, 1991)
 - Sistema Sócio Tecnológico – STS (Geels, 2002)
- Considera interação entre diferentes níveis (Multi- Level perspective e STS)
- Considera a análise da dinâmica e funcionamento do sistema (TIS é a única metodologia que avalia a dinâmica do sistema)

Sistemas de inovação

■ Processos de Inovação

- Modelo Sistêmico de Inovação



Sistemas de inovação

■ Processos de Inovação

- Modelo Sistêmico de Inovação

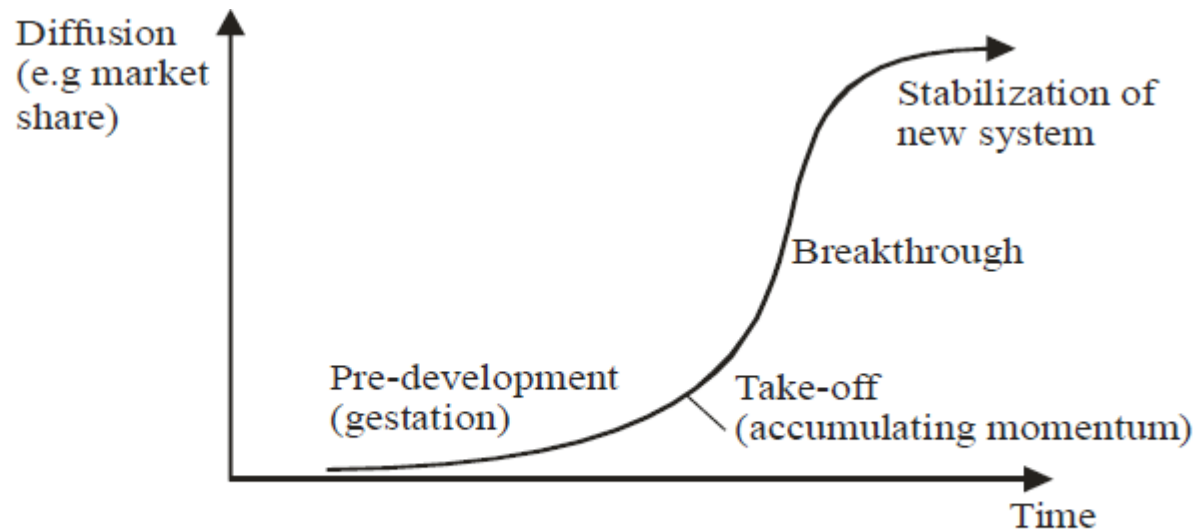
- Avaliação da dinâmica do Sistema de inovação através de análise de processos fundamentais
 - Atividades empreendedoras
 - Desenvolvimento de conhecimento
 - Difusão de conhecimento
 - Alinhamento de expectativas
 - Mobilização de recursos
 - Formação de mercado
 - Legitimação e ações contra resistência a mudanças

Sistemas de inovação

■ Processos de Inovação

- Modelo Sistêmico de Inovação

- Fases de um sistema de inovação para transição de longo prazo



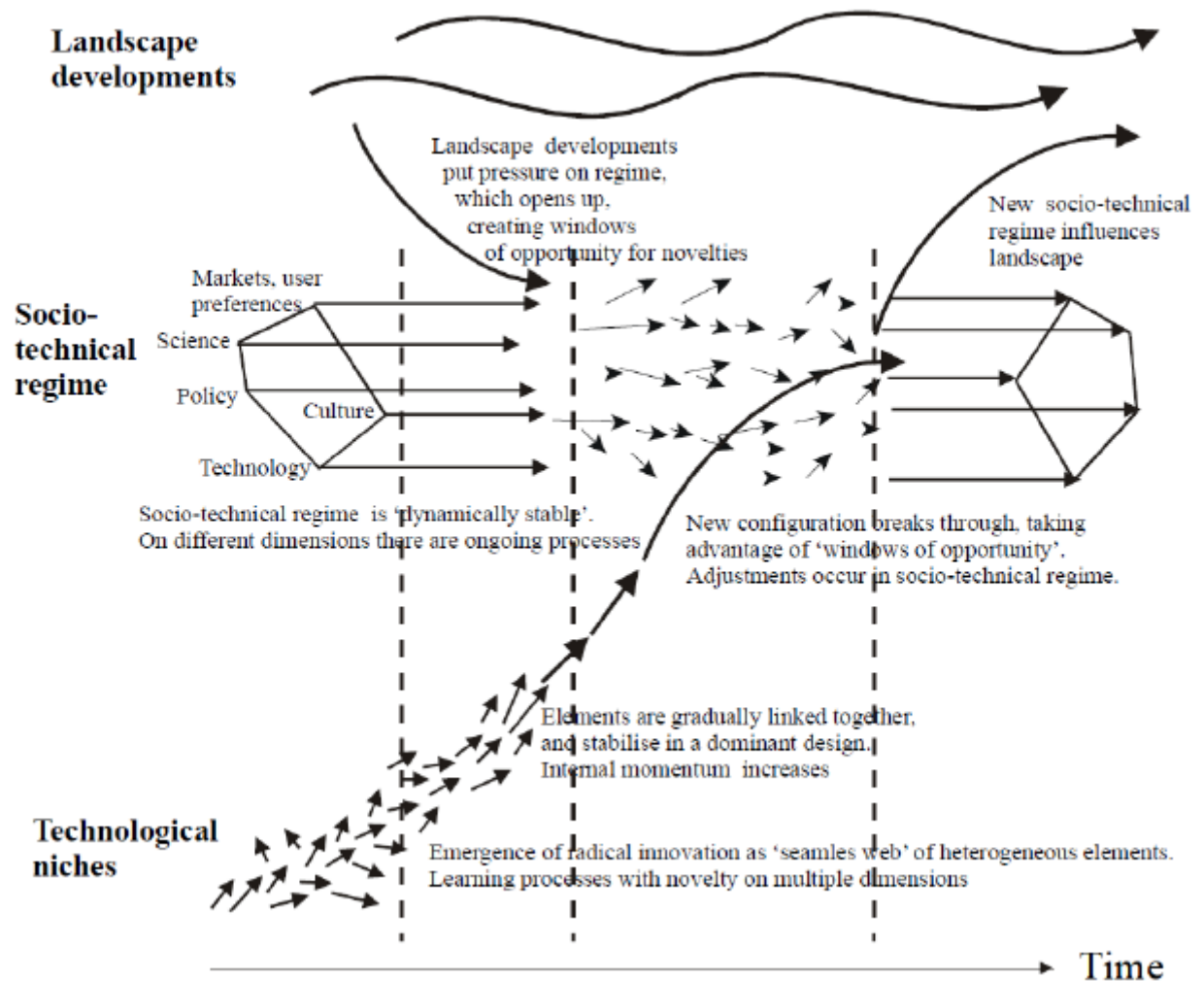
Early stage: Fostering awareness, debate and consensus; Prototyping and scaling up system innovations.



Sistemas de inovação

■ Processos de Inovação

- Modelo Sistêmico de Inovação
 - Dinâmica multi nível de sistema de inovação para transição de longo prazo





*Exemplos de tecnologias e processos
inovadores para o setor de Gestão de
Resíduos...*

Construção de curvas de aprendizado tecnológico

■ Curvas de aprendizado tecnológico

- Principal forma de introdução de análises de inovação em cenários
- Objetiva analisar evolução de custos no longo prazo a partir de experiências passadas
- Correlaciona a redução de custo de produção de determinada tecnologia com o aumento quantidade produzida
- Essa redução é consequência dos processos de aprendizado (*learning by doing, by using, by searching, by interacting upsizing*, economias de escala)
- Processos ocorrem dentro de um sistema de inovação

Construção de curvas de aprendizado tecnológico

■ Curvas de aprendizado tecnológico

$$Y = A \times X^b$$

Y: Custo por unidade;

A: Custo da primeira unidade;

X: Produção acumulada

b: índice de experiência (constante paramétrica negativa)

$$PR = 2^{-b}$$

PR: *Progress Ratio* – taxa em que o custo evolui cada vez que dobra a produção;

LR: *Learning Rate* – taxa em que o custo reduz cada vez que dobra a produção

$$LR = 1 - PR$$

■ Curvas de aprendizado tecnológico

- Logo para construção das curvas de aprendizados é preciso definir o PR (ou LR) e a difusão (quantidade produzida) no período
- A difusão, em geral, é variável de análise do cenário. Ou seja, é definida através de modelos ou metas estabelecidas para determinadas condições.
- A seleção do PR deve considerar as seguintes condições: complexidade da tecnologia analisada, processos de desenvolvimento da tecnologia, tipos de arranjos estabelecidos, condições de uso e demanda, ambiente institucional em que ocorreu o desenvolvimento e vetor principal de desenvolvimento.
- Logo, a definição do PR deve considerar se as condições do sistema de inovação definido no cenário analisado podem ser comparadas às condições em que o PR foi calculado.
- Caso os custos avaliados em curvas de aprendizado sejam custos totais de investimento, fatores não tecnológicos devem ser levados em consideração.



- **Curvas de aprendizado tecnológico na Gestão de Resíduos**
 - Fatores institucionais específicos, como grande interação entre diferentes agentes, setores e níveis devem ser levados em consideração
 - Muitas tecnologias de tratamento de resíduos geram benefícios externos ao setor.
 - O quadro decisório varia entre os diferentes setores (RSU, Efluentes e Agropecuária)
 - Contudo, como as tecnologias são transversais um setor pode ser a força motriz de outro, em termos de desenvolvimento tecnológico.
 - Fatores não tecnológicos são muito relevantes (governança e custos de transição entre diferente níveis de gestão e decisão, por exemplo)



PARTE IV – CUSTO MARGINAL DE ABATIMENTO E INTERPRETAÇÕES

- Metodologia de cálculo*
- Variáveis e interpretações*
- Exemplos*

Metodologia de cálculo

Definições

- Curvas de Custos Marginais de Abatimento (MACC) – Curva que evidencia o custo para abater a emissão de uma unidade de gás de efeito estufa de um conjunto de medidas em relação a uma determinada Linha de Base
- Eixo y -> $\$/tCO_{2eq}$ Custo Marginal de Abatimento (Custo extra em relação a linha de base) (uso de CO_{2eq} pois há um conjunto de medidas de abatimento de diferentes gases de efeito estufa)
- Eixo x -> tCO_{2eq} – Potencial de Abatimento das determinadas medidas em relação a linha de base.
- Usos: Gerenciar portfólio de medidas, Comunicar e divulgar potenciais, organizar ações de mitigação, estratégia para obtenção de dados, acompanhamento de evolução dos potenciais

Metodologia de cálculo

Parâmetros de Construção da MACC

- Definição de perspectiva de Análise : social, privada, setorial, etc – A principal variável é a taxa de desconto, que deve refletir os benefícios dada determinada ótica. Depende da finalidade da análise (entender diferença entre custo social e ótica privada, identificação de oportunidades de negócios, entender custos e relações de ações de incentivos a medidas de baixo carbono)
- Definição da escala de análise: projeto, empresa, setor, país, etc.
- Definição do período de análise e ano base: 2010 – 2050
- Definição de Linha de Base
- Levantamento de opções de mitigação disponível no horizonte de análise e parâmetros técnico-econômicos.
- Definir tipo de dinâmicas temporais: estática ou dinâmica
- Definir tipos de potencial: técnico, econômico ou de mercado

Metodologia de cálculo

$$MAC = \frac{\sum Acc + \sum O\&Mc - \sum R}{\sum AAE}$$

MAC - Custo Marginal de Abatimento (Marginal Abatement Cost)

Variáveis e interpretações

Interpretação dos Custos Marginais de Abatimento

- **Custos Marginais de Abatimento Negativos**
 - Muitas vezes não refletem custos de transição escondidos
 - Podem não considerar parcela já efetivada
 - Esses pontos podem ser mitigados caso haja uma análise sistêmica
- **Falta de premissas sócio-tecnológicas**
 - A maior parte das análises consideram somente premissas econômico-tecnológicas, como custos, taxas de desconto e viabilidade técnica
 - Questões como aprendizado e difusão de conhecimento, legitimação social, mudanças institucionais, proximidade, resistência a mudança, e diferentes níveis não são captadas.
- **Composição dos custos (alocação de custos, definição de taxas de desconto)**
 - Como o benefício não é restrito ao setor, o investimento (e a lógica de decisão) não fica clara,

Variáveis e interpretações

Especificidades dos Custos de Abatimento no Setor de Gestão de Resíduos

▪ **Definição da fronteira de análise**

- Definição do escopo e fronteira de análise resultam em Potencial de Redução de emissões de GEE e custos diferentes

▪ **Interação intersetorial**

- A produção de resíduos é dada pela dinâmica e atividade de outros setores
- As medidas de mitigação de emissões de GEE podem evitar emissões em outros setores

▪ **Composição dos custos (alocação de custos, definição de taxas de desconto)**

- Como o benefício não é restrito ao setor, o investimento (e a lógica de decisão) não fica clara, pois a dinâmica do setor de gestão de resíduos é diferente da dinâmica do setor em que há a interação – taxas de desconto e retorno, alocação dos custos e benefícios são as principais dificuldades.

Exemplos – Condição inicial

	2010	2012	2014	2016	2018	2020
Emissões Cenário Base (mil t de CH ₄)	1000	1045,91529	1093,938794	1144,167311	1196,702085	1251,649008
Recuperação de biogás de aterro (mil t de CH ₄)	989	989	989	989	989	989
Consumo específico caminhão (mil l de diesel/ano)	46					
Capacidade planta de biodigestão (mil t de CH ₄)	0,99					
Número de plantas	1000					
Número de Caminhões atendidos	29307					
Emissões Evitadas						
CH ₄ de aterro	989	989	989	989	989	989
CO ₂ da Frota	3381	3381	3381	3381	3381	3381
Total evitado de CO ₂ eq	28097	28097	28097	28097	28097	28097
Custos						
Planta de biodigestão e upgrade (mil R\$)	R\$ 45.000.000,00					
Investimento na Frota (mil R\$)	R\$ 2.930.700,00					
O&M	R\$ 4.500.000,00	R\$ 4.500.000,00	R\$ 4.500.000,00	R\$ 4.500.000,00	R\$ 4.500.000,00	R\$ 4.500.000,00
Custo Total	R\$ 12.300.500,70	R\$ 12.300.500,70	R\$ 12.300.500,70	R\$ 12.300.500,70	R\$ 12.300.500,70	R\$ 12.300.500,70
Receitas						
Economia com Diesel (mil R\$)	-R\$ 3.370.305,00	-R\$ 3.370.305,00	-R\$ 3.370.305,00	-R\$ 3.370.305,00	-R\$ 3.370.305,00	-R\$ 3.370.305,00
Receita Total	-R\$ 3.370.305,00	-R\$ 3.370.305,00	-R\$ 3.370.305,00	-R\$ 3.370.305,00	-R\$ 3.370.305,00	-R\$ 3.370.305,00
Custo Líquido Total	R\$ 8.930.195,70	R\$ 8.930.195,70	R\$ 8.930.195,70	R\$ 8.930.195,70	R\$ 8.930.195,70	R\$ 8.930.195,70
taxa de retorno	10%					
Custo líquido Total Anualizado (mil R\$)	R\$ 98.232.152,68					
Emissões evitadas totais (mil t de CO ₂ eq)	309.072					
Custo Marginal de Abatimento	317,83					

Exemplos – PR de 88% e com produção de 4x

	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Emissões Cenário Base (mil t de CH ₄)	1000	1045,91529	1093,938794	1144,167311	1196,702085	1251,649008
Recuperação de biogás de aterro (mil t de CH ₄)	989	989	989	989	989	989
Consumo específico caminhão (mil l de diesel/ano)	46					
Capacidade planta de biodigestão (mil t de CH ₄)	0,99					
Número de plantas	1000					
Número de Caminhões atendidos	29307					
Emissões Evitadas						
CH ₄ de aterro	989	989	989	989	989	989
CO ₂ da Frota	3381	3381	3381	3381	3381	3381
Total evitado de CO ₂ eq	28097	28097	28097	28097	28097	28097
Custos						
	R\$					
Planta de biodigestão e upgrade (mil R\$)	40.980.067,79					
	R\$					
Investimento na Frota (mil R\$)	2.930.700,00					
	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
O&M	4.098.006,78	4.098.006,78	4.098.006,78	4.098.006,78	4.098.006,78	4.098.006,78
	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
Custo Total	11.244.282,02	11.244.282,02	11.244.282,02	11.244.282,02	11.244.282,02	11.244.282,02
	7146275,244	7146275,244	7146275,244	7146275,244	7146275,244	7146275,244
Receitas						
	-R\$	-R\$	-R\$	-R\$	-R\$	-R\$
Economia com Diesel (mil R\$)	3.370.305,00	3.370.305,00	3.370.305,00	3.370.305,00	3.370.305,00	3.370.305,00
	-R\$	-R\$	-R\$	-R\$	-R\$	-R\$
Receita Total	3.370.305,00	3.370.305,00	3.370.305,00	3.370.305,00	3.370.305,00	3.370.305,00
	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
Custo Líquido Total	7.873.977,02	7.873.977,02	7.873.977,02	7.873.977,02	7.873.977,02	7.873.977,02
taxa de retorno						
	10%					
	R\$					
Custo líquido Total anual (mil R\$)	86.613.747,25					
Emissões evitadas totais (mil t de CO ₂ eq)	309.072					
Custo Marginal de Abatimento	280,24					

Exemplos – PR 75% e com produção de 4x

	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Emissões Cenário Base (mil t de CH ₄)	1000	1045,91529	1093,938794	1144,167311	1196,702085	1251,649008
Recuperação de biogás de aterro (mil t de CH ₄)	989	989	989	989	989	989
Consumo específico caminhão (mil l de diesel/ano)	46					
Capacidade planta de biodigestão (mil t de CH ₄)	0,99					
Número de plantas	1000					
Número de Caminhões atendidos	29307					
Emissões Evitadas						
CH ₄ de aterro	989	989	989	989	989	989
CO ₂ da Frota	3381	3381	3381	3381	3381	3381
Total evitado de CO ₂ eq	28097	28097	28097	28097	28097	28097
Custos						
Planta de biodigestão e upgrade (mil R\$)	R\$ 36.454.802,87					
Investimento na Frota (mil R\$)	R\$ 2.930.700,00					
O&M	R\$ 3.645.480,29	R\$ 3.645.480,29	R\$ 3.645.480,29	R\$ 3.645.480,29	R\$ 3.645.480,29	R\$ 3.645.480,29
Custo Total	R\$ 10.055.289,50	R\$ 10.055.289,50	R\$ 10.055.289,50	R\$ 10.055.289,50	R\$ 10.055.289,50	R\$ 10.055.289,50
Receitas	6409809,218	6409809,218	6409809,218	6409809,218	6409809,218	6409809,218
Economia com Diesel (mil R\$)	-R\$ 3.370.305,00	-R\$ 3.370.305,00	-R\$ 3.370.305,00	-R\$ 3.370.305,00	-R\$ 3.370.305,00	-R\$ 3.370.305,00
Receita Total	-R\$ 3.370.305,00	-R\$ 3.370.305,00	-R\$ 3.370.305,00	-R\$ 3.370.305,00	-R\$ 3.370.305,00	-R\$ 3.370.305,00
Custo Líquido Total	R\$ 6.684.984,50	R\$ 6.684.984,50	R\$ 6.684.984,50	R\$ 6.684.984,50	R\$ 6.684.984,50	R\$ 6.684.984,50
taxa de retorno	10%					
Custo líquido Total anual (mil R\$)	R\$ 73.534.829,55					
Emissões evitadas totais (mil t de CO ₂ eq)	309,072					
Custo Marginal de Abatimento	237,92					



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

*OBRIGADO
LUIZ GUSTAVO S. DE OLIVEIRA
lugu.siloli@gmail.com*