



Diretrizes para Avaliação da Área de Influência Direta e Indireta de Projetos de Infraestrutura de Transporte

Fevereiro, 2023



CLIMATE
POLICY
INITIATIVE



PUC
RIO

AUTOR

Rafael Araujo

Analista Sênior, Infraestrutura, CPI/PUC-Rio

rafael.araujo@cpiglobal.org

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é financiado por Gordon and Betty Moore Foundation.

O autor gostaria de agradecer Juliano Assunção, Natalie Hoover El Rashidy e Giovanna de Miranda pelo trabalho de revisão e edição de texto e Julia Berry e Nina Oswald pelo trabalho de design gráfico.

Nossos parceiros e financiadores não necessariamente compartilham das posições expressas nesta publicação.

This publication does not necessarily represent the view of our funders and partners.

SOBRE O CPI

O Climate Policy Initiative (CPI) é uma organização com experiência na análise de políticas públicas e finanças. Nossa missão é contribuir para que governos, empresas e instituições financeiras possam impulsionar o crescimento econômico enquanto enfrentam mudanças do clima. Nossa visão é a de uma economia global sustentável, resiliente e inclusiva.

PALAVRAS-CHAVE

Acesso a Mercado, Desmatamento, Infraestrutura de Transporte

CITAÇÃO SUGERIDA

Araujo, Rafael. *Diretrizes para Avaliação da Área de Influência Direta e Indireta de Projetos de Infraestrutura de Transporte*. Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, 2023.

CONTATO

contato.brasil@cpiglobal.org



LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1. Passo a Passo para Análise de Impacto Ambiental	3
Figura 2. Grafos de Tamanho de Mercado e Acesso a Mercado	4
Tabela 1. Dados de Malha de Transportes	6
Figura 3. Como um Computador Vê uma Estrada	7
Figura 4. Adicionando mais Elementos na Malha de Transporte	8
Figura 5. Adicionando mais Elementos na Malha de Transporte	8
Figura 6. Uma Área de Influência Restrita para uma Ponte	9
Figura 7. Construindo uma Área de Influência Abrangente para uma Ponte	10
Figura 8. Espinha de Peixe	11
Figura 9. Custos de Congestionamento	12
Tabela 2. Dados de Tamanho de Mercados	12
Tabela 3. Valores para Elasticidade de Troca	14
Tabela 4. Dados de Desmatamento	14
Figura 10. Estoque de Carbono na Amazônia	16
Figura 11. Custo de Transportes em Diferentes Cenários	18
Figura 12. Acesso a Mercado e Desmatamento	19
Figura 13. Impacto de uma Nova Estrada	20

CONTENTS

Introdução	1
A Metodologia de Acesso a Mercado	2
Construindo o Acesso a Mercado e Medindo o Desmatamento	5
Cálculo dos custos de transporte	5
Rodovias, portos e hidrovias	6
Pontes: uma comparação entre duas metodologias	9
Padrão espinha de peixe	10
Uma nota sobre o congestionamento	11
Tamanho do Mercado	12
Acesso ao Mercado	13
Desmatamento	14
Estimando a Relação entre Acesso a Mercado e Desmatamento	15
Emissões de Carbono	16
Aplicando A Metodologia	17
Conclusão	21
Referências	22

INTRODUÇÃO

O Climate Policy Initiative/PUC-Rio em parceria com o BNDES e o Estado do Pará, desenvolveu e aplicou uma metodologia de acesso a mercado para quantificar os impactos diretos e indiretos do desenvolvimento de infraestrutura sobre o desmatamento no Brasil (Araujo, Bragança e Assunção 2022; Araujo, Assunção e Bragança 2020; Bragança et al. 2021; Chiavari et al. 2022;). A aplicação dessa metodologia permite às partes interessadas desenharem cenários mais precisos dos impactos de infraestrutura, possibilitando uma avaliação mais precisa dos custos e benefícios de projetos individuais.

Mapear as áreas que serão afetadas por uma mudança na infraestrutura de transporte é fundamental para a avaliação dos custos e benefícios. O correto mapeamento da área de influência permite identificar as populações que serão afetadas, os habitats naturais que serão convertidos para uso agrícola e as emissões associadas ao desmatamento. As áreas de maior risco de desmatamento devem orientar os esforços de mitigação, podendo haver o desenvolvimento de políticas direcionadas – ações de comando e controle, implementação do código florestal e implementação de pagamento por serviços ecossistêmicos (PSE) – como condição para atrair investimentos.

Este documento apresenta um conjunto de diretrizes para a avaliação das áreas de influência direta e indireta de projetos de infraestrutura de transporte que podem ser utilizadas por órgãos ambientais, investidores e sociedade civil.

As próximas seções apresentam um modelo de todas as etapas necessárias para aplicar-se a metodologia de acesso a mercado. Começa com uma visão geral da metodologia e, em seguida, desenvolve cada um dos componentes do modelo: custo de transporte, tamanho do mercado e desmatamento. Esses três componentes são, então, combinados em um modelo estatístico para estimar o desmatamento causado pelos projetos. Porém, o desmatamento não é o único resultado que pode ser computado com a metodologia. Uma seção sobre como calcular a emissão de carbono dos projetos fecha o modelo. Além disso, um exemplo simplificado é desenvolvido do início ao fim.

A METODOLOGIA DE ACESSO A MERCADO

Normalmente, a delimitação da área de influência é determinada por uma distância geográfica aos contornos do projeto: quanto mais próxima, maior o impacto, considerando o impacto além de um limiar predefinido como zero. Essa metodologia sozinha não é a ideal porque não considera a dinâmica social e econômica inerente às mudanças na infraestrutura, principalmente para grandes projetos. Para capturar essas importantes dinâmicas sociais e econômicas, é necessário passar do uso da distância geográfica do projeto para as mudanças no acesso a mercados causadas pelo projeto. Neste documento, o CPI/PUC-Rio apresenta um projeto para desenvolver uma aplicação para avaliar a área de influência direta e indireta de projetos de infraestrutura de transporte considerando fatores sociais e econômicos.

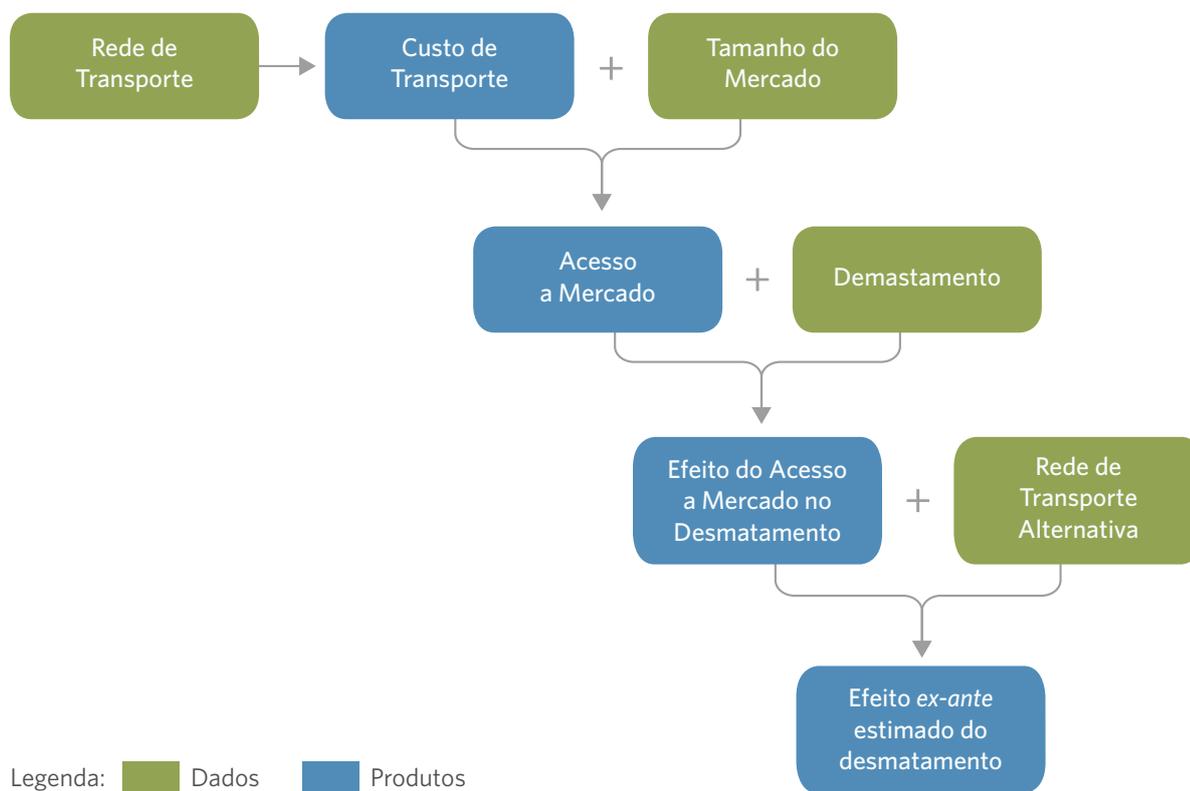
Para capturar fatores sociais e econômicos, a mudança na infraestrutura de transporte deve ser traduzida em mudanças de acesso a mercados. A metodologia de **acesso ao mercado** descrita neste estudo explora o fato de que o relevante não é o desenho do projeto em si, mas como e o que o projeto conecta. Por exemplo, uma estrada ligando uma região a um porto com acesso a mercados internacionais resultaria em mais desmatamento do que se a mesma estrutura viária fosse usada para ligar a região a uma pequena cidade.

É importante destacar que a abordagem de acesso a mercado não é proposta como o único método para determinar a área de influência. Pelo contrário, é um método adequado para estimar impactos por meio de fatores sociais e econômicos que podem ser combinados com outros métodos para criar uma estimativa mais confiável da área de influência.

Os principais componentes da metodologia de acesso a mercado são: o **custo de conectar mercados** - representado pelo custo de transporte de mercadorias entre os mercados - o **tamanho econômico dos mercados** - representado por sua população ou seu valor de produção - e a **conversão de terras** - representado por medidas de desmatamento. A combinação desses três componentes permite uma especificação flexível **de como o uso do solo é afetado pela infraestrutura de transporte**.

A Figura 1 ilustra as etapas de uma análise completa. Nessa figura, as caixas verde indicam os dados necessários para a análise e as caixas azuis indicam os produtos da análise. Começamos com dados sobre a rede de transporte disponível, que é usada para calcular o custo de transporte entre os mercados. O custo de transporte e o tamanho do mercado são combinados para gerar a medida de acesso a mercado, que será explicada em mais detalhes na próxima seção. A medida de acesso a mercado é combinada com dados de desmatamento para estimar a relação estatística entre acesso a mercado e desmatamento. A etapa final é criar uma rede de transporte alternativa - uma nova estrada, por exemplo -, recalcular o acesso ao mercado e usar o modelo estatístico de acesso a mercado sobre o desmatamento para estimar o impacto *ex-ante* da mudança na rede de transporte.

Figura 1. Passo a Passo para Análise de Impacto Ambiental



Nota: A figura descreve as etapas para uma análise completa da pegada de desmatamento de um projeto de infraestrutura.

Fonte: CPI/PUC-RIO, 2023

Para combinar o **custo de transporte** e o **tamanho do mercado** em um único número interpretável, a literatura econômica de comércio internacional desenvolveu a medida de acesso a mercado (Eaton e Kortum 2002). Para construir esta medida, cada mercado aparece conectado a uma variedade de mercados diferentes e cada conexão está sujeita a um custo de transporte diferente. Esse grande conjunto de informações é, então, resumido em uma média ponderada, onde o **acesso a mercado de cada região depende dos tamanhos dos mercados de seus parceiros comerciais** inversamente ponderados pelo custo de acesso.

A Figura 2 ilustra esse conceito: cada estado brasileiro representa um mercado e a rede de transporte é composta apenas pela infraestrutura viária. Na Figura 2a, o tamanho de cada mercado é representado pelo tamanho do círculo e o custo de viagem entre dois mercados é representado pela espessura da linha que os conecta. Adicionalmente, na Figura 2b o tamanho de cada círculo representa o acesso a mercado. Difere do tamanho de cada mercado porque o acesso a mercado é determinado não apenas pelo tamanho do mercado de uma determinada região, mas também pelo tamanho dos mercados das outras regiões e pela facilidade de acesso a eles. O mercado de São Paulo, por exemplo, não é apenas o mercado de maior porte, mas também é o que dispõe das melhores conexões com outros grandes mercados. É por isso que a cidade tem o maior acesso ao mercado. Mudanças na infraestrutura de transporte – as linhas da Figura 2 – irão alterar a rede de transporte, afetando o acesso ao mercado.

Figura 2. Grafos de Tamanho de Mercado e Acesso a Mercado

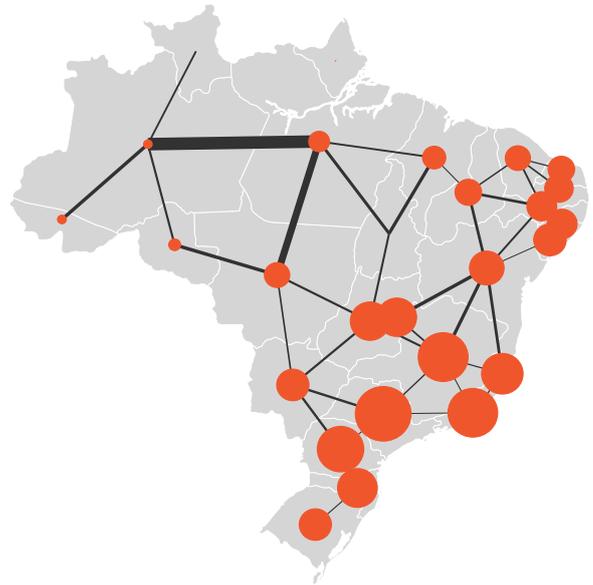
Figura 2a. Tamanho de Mercado



● **Mercados** (o tamanho do círculo representa o tamanho do mercado)

— **Conexões entre os mercados**
(a espessura da linha indica o custo de transporte entre os mercados: quanto mais grossa a linha, mais caro o transporte)

Figura 2b. Acesso a Mercado



● **Mercados** (o tamanho do círculo representa o acesso a mercado)

— **Conexões entre os mercados**
(a espessura da linha indica o custo de transporte entre os mercados: quanto mais grossa a linha, mais caro o transporte)

Nota: A figura mostra o tamanho do mercado (2a) e o acesso a mercado (2b) em um cenário em que cada estado representa um mercado e o comércio só pode acontecer por estradas.

Fonte: CPI/PUC-Rio com base nos dados do Censo IBGE (2010) e do Ministério dos Transportes, 2023

CONSTRUINDO O ACESSO A MERCADO E MEDINDO O DESMATAMENTO

Para estudar o impacto de projetos individuais de infraestrutura, o primeiro passo é construir a medida de acesso a mercado, que requer dados sobre o tamanho do mercado (o tamanho dos círculos na Figura 2) e a capacidade de calcular os custos de transporte (a área das linhas pretas na Figura 2) das redes de infraestrutura. As próximas seções descrevem em detalhes cada um desses componentes.

CÁLCULO DOS CUSTOS DE TRANSPORTE

Existe uma gama de programas utilizados no dia a dia que calculam os custos de transporte entre determinada origem e destino, sendo o custo de transporte geralmente expresso em termos de tempo estimado de viagem. No entanto, esses programas não permitem que os seus usuários alterem a infraestrutura da rede – a construção de uma nova estrada, por exemplo – e, portanto, torna-se necessário construir essa aplicação.

Os dados necessários para construir essa aplicação são dados georreferenciados da infraestrutura de transporte: **rodovias, ferrovias, hidrovias, estações ferroviárias, portos e outros modais de transporte**. Quanto melhores os dados, mais preciso será o cálculo dos custos de transporte. Por exemplo, com dados sobre as condições das rodovias – pavimentadas ou não pavimentadas, velocidade média do tráfego, custo médio do frete de mercadorias por quilômetro – é possível atribuir diferentes custos de transporte ao uso de cada tipo de rodovia. O mesmo raciocínio vale para os outros modais de transporte. Por exemplo, dados sobre taxas de transbordo ao usar-se um porto ou atraso no processo de transbordo também podem ser incluídos na medida de custo de transporte.

A Tabela 1 apresenta possíveis fontes de dados para a rede de transporte no Brasil que podem ser usadas para construir os dados de custo de transporte.

Tabela 1. Dados de Malha de Transportes

Conteúdo	Fonte	Cobertura
Rodovias federais com dados sobre a condição das estradas	Ministério da Infraestrutura	Decênios de 1980 a 2020
Rodovias estaduais com dados sobre a condição das estradas	DNIT	Um ano: 2020
Rodovias federais, estaduais e municipais com dados sobre a condição das estradas	Open Street Maps	Somente o ano atual
Dados de frete	SIFRECA ESALQ USP	Anos de 2014 a 2018
Hidrovias e ferrovias	Ministério da Infraestrutura	Decênios de 1980 a 2020
Estações ferroviárias	Ministério da Infraestrutura	Um ano: 2020
Portos	Ministério da Infraestrutura	Somente o ano atual
Ano de construção dos portos	ANTAQ	Desde 1970

Nota: A tabela mostra potenciais fontes de dados para se construir a rede de infraestrutura.

Fonte: CPI/PUC-RIO, 2023

Para entender a flexibilidade permitida nesse tipo de aplicação, é útil conhecer a estrutura de dados subjacente. Esses dados na rede de transporte são transformados em dados de rede (um grafo) ao qual um algoritmo de trajeto ótimo padrão pode ser aplicado. O algoritmo é responsável por encontrar o trajeto de menor custo e o custo desse trajeto entre uma determinada origem e um destino.

Os dados dividem a rede de interesse da infraestrutura em uma série de pequenas partes (nós) e determinam: qual nó está conectado a qual – por exemplo, o nó que representa um porto está conectado a um nó que representa uma hidrovia – e o custo de se mover de um nó para outro – por exemplo, a taxa de uso de um porto para acessar uma hidrovia. Quaisquer dados sobre como esses nós estão conectados e quanto custa se mover de um nó para outro podem ser incluídos na aplicação.

Os próximos exemplos descrevem alguns casos para mostrar a flexibilidade dessa estrutura de dados.

RODOVIAS, PORTOS E HIDROVIAS

A Figura 3 ilustra essa estrutura de dados. Na Figura 3a, há dados de uma rede de transporte simples conectando dois mercados: A e B. Apenas uma rodovia está disponível. Para calcular o custo para viajar de A para B, a Figura 3b ilustra uma possível configuração dos dados em grafo, com as setas (arestas) representando a direção permitida e o tamanho das setas representando o custo de se mover de um nó para outro.

Figura 3. Como um Computador Vê uma Estrada

Figura 3a. Dados da Rede de Transporte

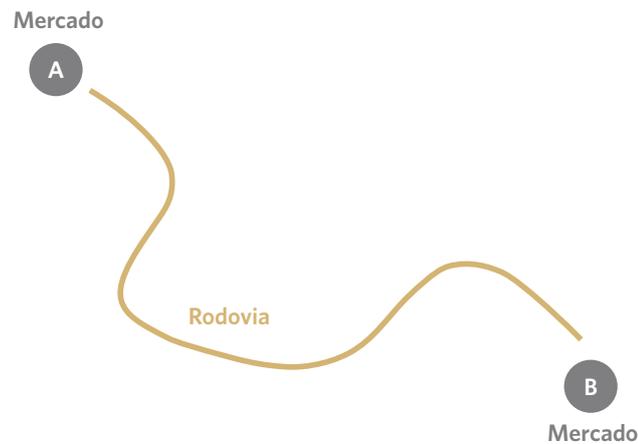
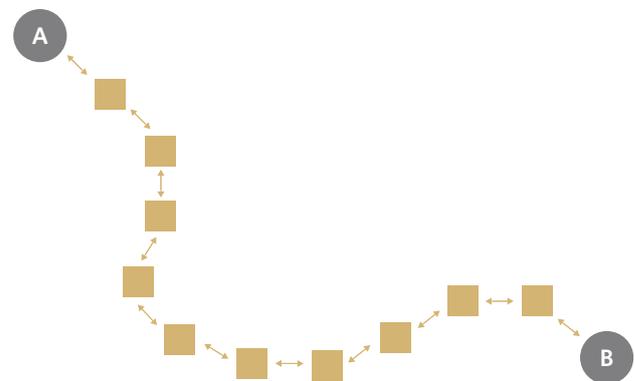


Figura 3b. Dados da Rede de Transporte em Grafo



■ Trecho de modal de transporte

↔ Custo de Transporte

(a espessura da seta indica o custo de transporte entre os trechos: quanto mais grossa a seta, mais caro o transporte)

Nota: A figura apresenta dois mercados – A e B – ligados por uma única rodovia (3a). Essa rodovia é convertida em um grafo (3b) onde as setas representam o custo de deslocamento de um pixel (nó) para outro.

Fonte: CPI/PUC-Rio, 2023

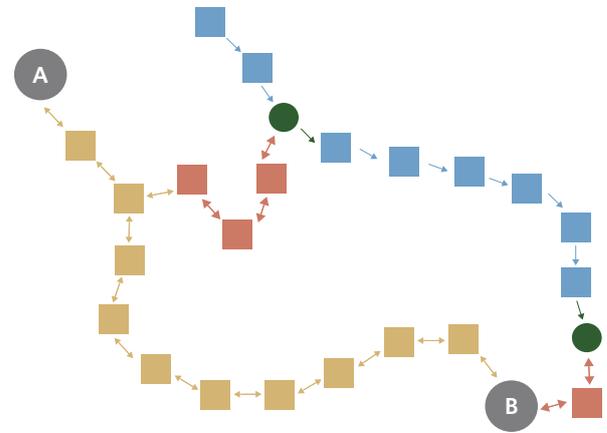
É possível adicionar muito mais recursos nesta rede simples de infraestrutura. A Figura 4 altera a rede adicionando uma hidrovia, dois portos e pequenas estradas de acesso aos portos. As pequenas estradas são mais caras para viajar, portanto suas setas são maiores. Para acessar a hidrovia, é preciso necessariamente utilizar um porto e pagar uma taxa de transbordo, representada pela seta grossa verde.

Figura 4. Adicionando mais Elementos na Malha de Transporte

Figura 4a. Dados da Rede de Transporte



Figura 4b. Dados da Rede de Transporte em Grafo



Trecho de modal de transporte

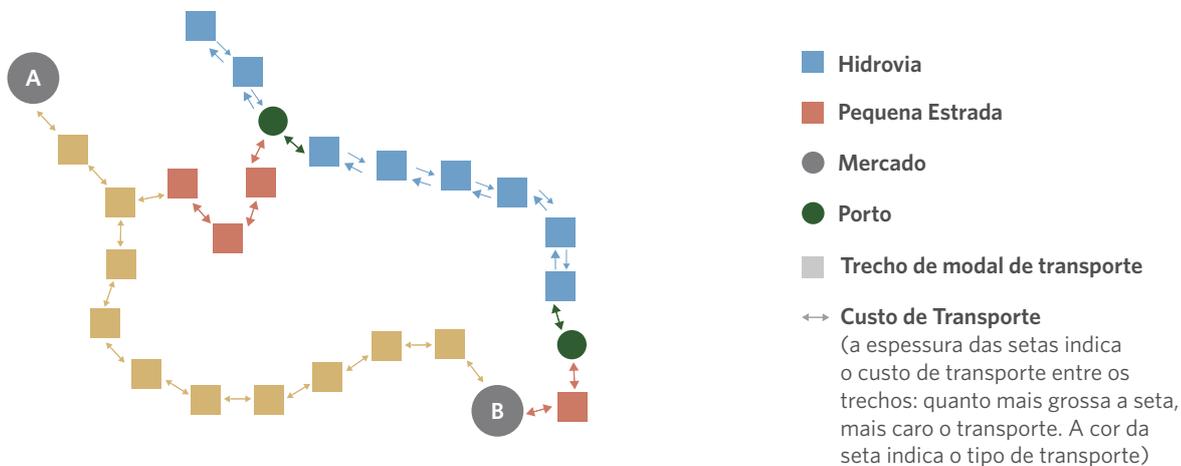
↔ **Custo de Transporte** (a espessura das setas indica o custo de transporte entre os trechos: quanto mais grossa a seta, mais caro o transporte. A cor da seta indica o tipo de transporte)

Nota: A figura apresenta dois mercados – A e B – ligados por uma via rodoviária e outra fluvial (4a). Esta rede de transporte é convertida em um grafo (4b). Observe que o custo de deslocamento de um porto para uma hidrovia é diferente dos demais custos, representando a flexibilidade da aplicação de incorporar diferentes dados de taxas de transbordo no modelo de custo de transporte.

Fonte: CPI/PUC-Rio, 2023

Observe que, nesta configuração específica, só é permitido viajar rio abaixo. Se houver dados disponíveis sobre custos heterogêneos de subir e de descer o rio, eles podem ser adicionados à estrutura de dados, como na Figura 5, onde as setas azuis apontando rio acima são mais grossas do que as setas azuis na figura abaixo.

Figura 5. Adicionando mais Elementos na Malha de Transporte



Nota: A figura representa a mesma rede de transporte da Figura 4, só que incorpora o custo de subir o rio, sendo esse custo superior ao custo de descer o rio.

Fonte: CPI/PUC-Rio, 2023

Da mesma forma que foram acrescentados dois portos e uma hidrovia, é possível adicionar ferrovias, aeroportos, metrô e outros tipos de infraestrutura. É possível melhorar projetos existentes reduzindo o custo (ou seja, diminuindo o tamanho das setas). Isso permite que a metodologia de acesso a mercado seja empregada não apenas para avaliar a área de influência da construção dos projetos, mas também a área que será afetada por mudanças regulatórias, como subsídios ou teto de preço. Basta o esboço do projeto e os dados para atribuir o custo de deslocamento do projeto.

PONTES: UMA COMPARAÇÃO ENTRE DUAS METODOLOGIAS

O exemplo da construção de uma ponte esclarece a diferença entre usar *buffers* e limiares para determinar a área de influência e usar a abordagem de acesso a mercado. Na metodologia de acesso a mercado, uma ponte é apenas mais uma estrutura que afeta o custo de transporte. Se uma pequena ponte tem um grande impacto no custo de transporte, ela terá um grande impacto no acesso a mercado e, portanto, no uso da terra. Em uma metodologia mecânica em que o esboço do projeto é o elemento mais relevante, uma ponte pequena terá sempre um impacto reduzido no ordenamento do território.

Considere o exemplo da Figura 6, onde os mercados A e B são separados por um rio. Nesse caso, a estrada representada é inútil para o comércio entre os mercados A e B. No entanto, se uma ponte for construída, A e B estarão instantaneamente conectados. Uma área de influência determinada apenas pela distância geográfica ao novo projeto (da ponte), conforme a Figura 6B, pode não levar em conta o fato de que todo o trajeto entre A e B será afetado pela ponte recém-construída. A ponte mudará efetivamente o acesso a mercado de A e de B, causando mudanças no uso do solo de ambas as regiões.

Figura 6. Uma Área de Influência Restrita para uma Ponte

Figura 6a. Mercados Não Conectados

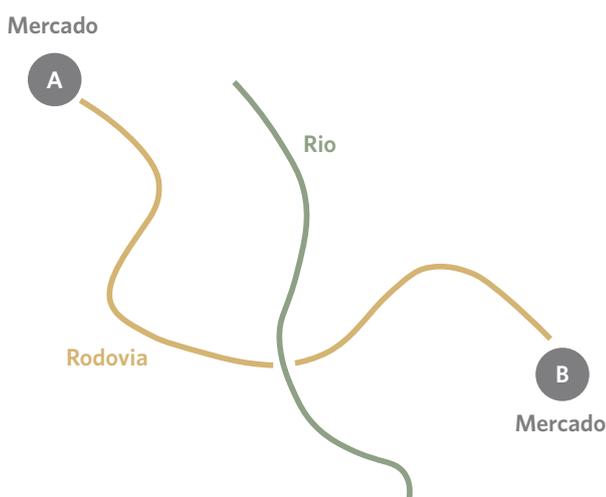
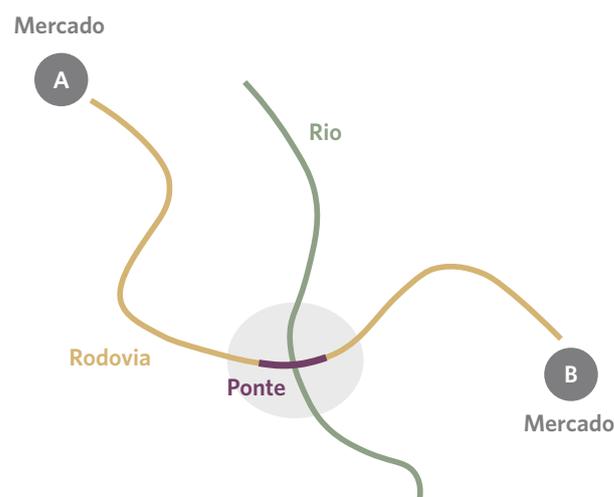


Figura 6b. Mercados Conectados por uma Ponte



Nota: A figura mostra dois mercados – A e B – que não estão ligados devido à existência de um rio (6a). A construção de uma ponte (6b) permite a ligação dos dois mercados. Uma metodologia de delimitação da área de influência que dê conta apenas do esboço do novo projeto poderia traçar uma área de influência como em (6b), ignorando que toda a estrada que liga os mercados A e B será afetada pela construção da nova ponte.

Fonte: CPI/PUC-Rio, 2023

A Figura 7 ilustra como uma ponte pode ser incorporada à rede. É também possível modelar um pedágio, atribuindo-se um custo diferente ao deslocamento ao nó que representa a ponte.

Figura 7. Construindo uma Área de Influência Abrangente para uma Ponte

Figura 7a. Mercados Não Conectados (Grafo)

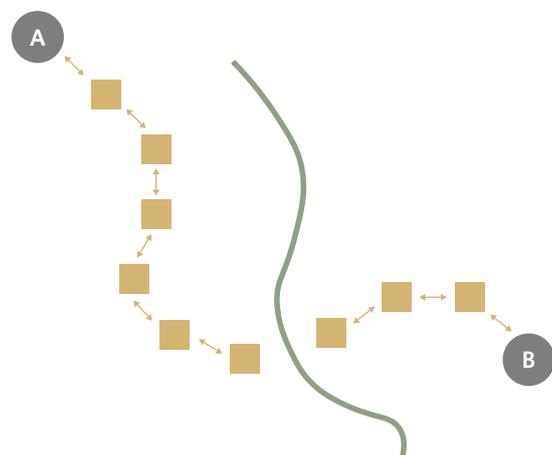
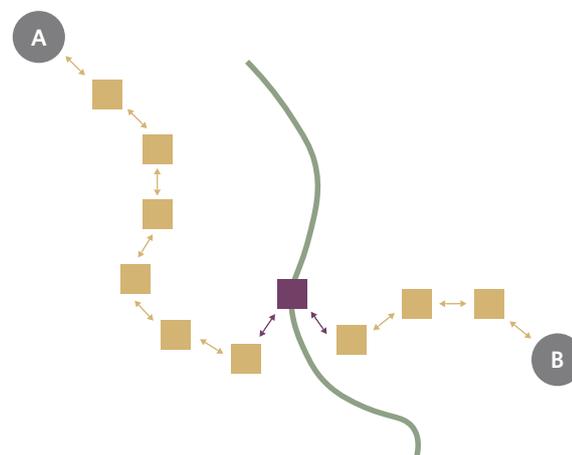


Figura 7b. Mercados Conectados por uma Ponte (Grafo)



- Rio
- Ponte
- Trecho de modal de transporte
- ↔ Custo de Transporte
(a espessura das setas indica o custo de transporte entre os trechos: quanto mais grossa a seta, mais caro o transporte. A cor da seta indica o tipo de transporte)

Nota: A figura mostra como uma ponte seria adicionada aos dados do grafo (rede). Observe que as setas (arestas) que ligam a ponte às vias possuem cores diferentes, representando que pode ser modelado um custo específico para o uso da ponte, como no caso de um pedágio, por exemplo.

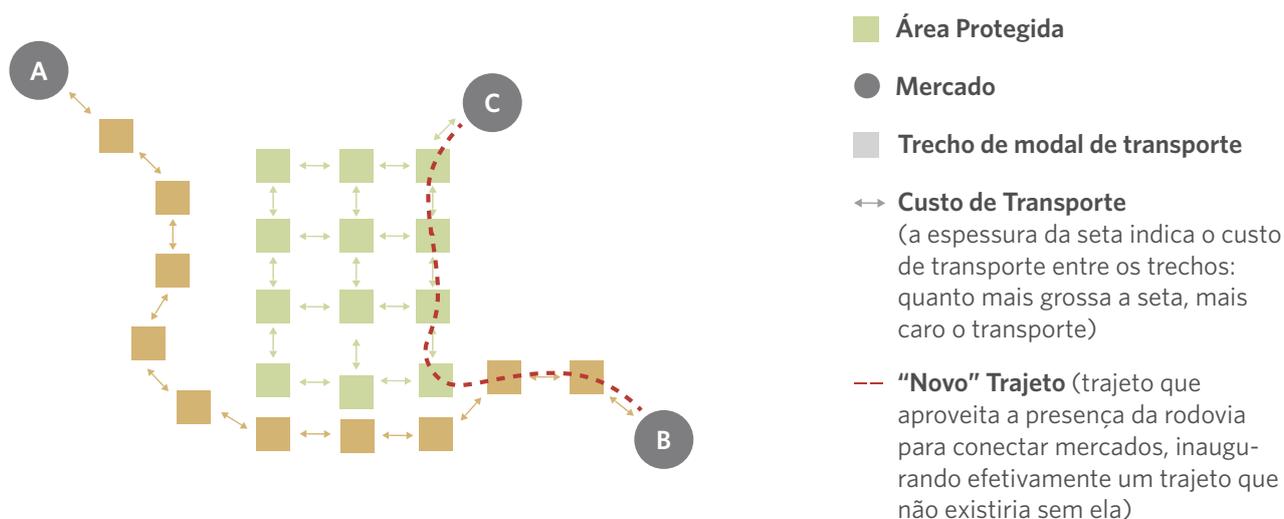
Fonte: CPI/PUC-Rio, 2023

PADRÃO ESPINHA DE PEIXE

Na literatura, o padrão “espinha de peixe” refere-se a estradas (legais ou ilegais) criadas a partir da chegada de uma nova rodovia. O aspecto crucial que determina a presença desse padrão é se as regiões vizinhas de uma rodovia recém-construída têm acesso a ela. O acesso das regiões vizinhas pode depender de uma série de fatores: aplicação da lei, topografia e características do projeto. A Figura 8 mostra essa distinção. Suponha a construção de uma rodovia próxima a uma área protegida, representada pelo mercado C. A questão fundamental é: essa área pode acessar e ser acessada pela rodovia? Se isso for possível em alguns pontos - por falta de fiscalização, por exemplo - então esses pixels da área protegida farão parte de um possível caminho de minimização de custo e parte dos mercados também, criando efetivamente novos trajetos que podem ser interpretados como estradas.

Na Figura 8, a linha tracejada vermelha representa um trajeto que aproveita a presença da rodovia para conectar os mercados, inaugurando efetivamente um trajeto que não existiria sem ela.

Figura 8. Espinha de Peixe



Nota: A figura mostra como um novo trajeto (a linha vermelha tracejada) pode aparecer como resultado da construção de uma rodovia ligando os mercados A e B. Esta é uma representação do mecanismo que cria o padrão espinha de peixe.

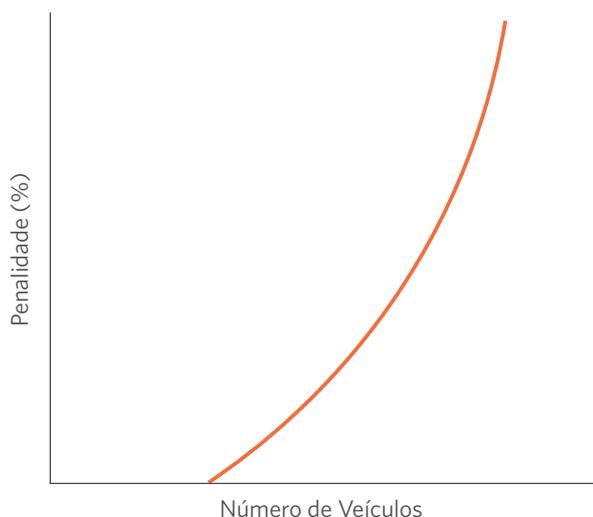
Fonte: CPI/PUC-Rio, 2023

UMA NOTA SOBRE O CONGESTIONAMENTO

Uma aplicação que consiga computar custos de congestionamento exigiria consideravelmente mais dados e capacidade de processamento. Em um modelo com congestionamento, o custo de se atravessar uma estrada, por exemplo, depende de quanto o trajeto está sendo usado. Para fazer isso, são necessárias duas etapas.

Primeiro, é preciso ter uma função – estimada ou calibrada – que conecte uma medida de quanto o trajeto está sendo usado e uma penalidade no custo de se percorrer o pixel. A Figura 9 mostra um exemplo no qual não há custo de congestionamento até um determinado número limite de veículos, a partir do qual a penalidade passa a ser exponencial. Em segundo lugar, a penalidade afeta o quanto o trajeto está sendo usado (o número de veículos), o que afeta a penalidade de volta. Assim, essa relação precisa ser considerada em equilíbrio. Isso se dá por meio de um processo iterativo: começar sem penalidade e medir o uso do trajeto, aplicar a função de penalidade nos pixels e medir novamente o uso do trajeto. Repetir esse processo de medição e aplicação da penalidade até a convergência. Isso dará os trajetos ótimos em equilíbrio em um contexto com congestionamento.

Figura 9. Custos de Congestionamento



Nota: A Figura ilustra uma possível função de penalidade para congestionamento na infraestrutura de transporte. Acima de um determinado número de veículos utilizando a estrutura, o custo aumenta exponencialmente com o número de veículos.

Fonte: CPI/PUC-Rio, 2023

TAMANHO DO MERCADO

Para construir a variável de acesso a mercado, o tamanho de cada mercado pode ser representado de várias maneiras – por exemplo, população, renda ou produção. Também é possível usar medidas representativas de atividade econômica, como luzes noturnas (Addison e Stewart 2015).

A Tabela 2 apresenta possíveis fontes de dados para a variável tamanho do mercado.

Tabela 2. Dados de Tamanho de Mercados

Conteúdo	Fonte	Cobertura	Nível Espacial
População	Censo Demográfico IBGE	Decênios de 1980 a 2010	Município
Produção	PIB Municipal segundo IBGE	Anos de 2002 - 2019	Município
Luzes noturnas	Zhao, Chenchen; Xin Cao, Xuehong Chen e Xihong Cui. A Consistent and Corrected Nighttime Light dataset. (CCNL 1992–2013) from DMSP-OLS data". <i>Scientific Data</i> (2022). bit.ly/NighttimeLight .	Anos de 1992 - 2013	Pixel de 1km
Luzes noturnas	Mills, Stephen; Stephanie Weiss e Calvin Liang. "VIIRS day/night band (DNB) stray light characterization and correction". In: Butler, James J., Xiaoxiong (Jack) Xiong e Xingfa Gu. <i>Earth Observing Systems XVIII</i> , vol. 8866, 549-566. San Diego: SPIE, 2013.	Anos de 2014 - 2022	Pixel de 460m

Nota: A tabela mostra possíveis fontes de dados para construir a medida tamanho do mercado.

Fonte: CPI/PUC-Rio, 2023

Os dados de tamanho do mercado geralmente estão disponíveis nos dados do Censo decenal em nível municipal. Dados de satélite sobre luzes noturnas podem agregar dados mais granulares às dimensões espacial e temporal. A granularidade dos dados para o tamanho do mercado determinará a granularidade na qual a área de influência pode ser construída. Por exemplo, com dados de população em nível municipal, o impacto de um projeto de infraestrutura no desmatamento será calculado também em nível municipal.

No entanto, mais granularidade não é necessariamente algo desejável. A variável tamanho do mercado deve refletir um mercado - ou seja, uma região com compradores e vendedores. Por exemplo, um lote de terra dificilmente constituiria um mercado e, portanto, o uso de dados em nível do lote pode agregar uma complexidade desnecessária. Já uma agregação ao nível do estado (como na Figura 2) pode ser visto como um grupo de múltiplos mercados, descartando informações úteis.

ACESSO AO MERCADO

Com o custo de transporte calculado e os dados do tamanho do mercado, o acesso a mercado pode ser medido da seguinte forma (Donaldson e Hornbeck 2016):

$$MA_m = \sum_{m'} \frac{N_{m'}}{(\tau_{mm'})^\theta}$$

Sendo que MA_m denota o acesso a mercado do mercado m , $N_{m'}$ denota o tamanho do mercado m' , $\tau_{mm'}$ denota o custo de transporte entre os mercados m e m' , e θ é um parâmetro de escala. Essa medida tem sido amplamente aplicada na economia (Eaton e Kortum 2002; Redding e Venables 2004) para estudar os impactos de bem-estar e produção do comércio e da infraestrutura.

A interpretação é que todos os mercados exercem uma força econômica em cada mercado específico, mas essa força é diminuída quanto maior for o custo para acessar esse mercado específico. Também é comumente referido como um *modelo de gravidade*, em uma analogia com os modelos da física onde cada corpo é afetado pela gravidade gerada por todos os outros corpos, mas essa força diminui com a distância.

O θ é um parâmetro de escala comumente conhecido como elasticidade de troca, que capta o quão fortemente um mercado é penalizado pelo custo de ser acessado. Esse valor pode ser calibrado com estimativas encontradas na literatura. A Tabela 3 descreve alguns valores estimados na literatura econômica.

Tabela 3. Valores para Elasticidade de Troca

Referência	Preferido (θ)
Eaton, Jonathan e Samuel Kortum. "Technology, geography, and trade." <i>Econometrica</i> 70, nº 5 (2002): 1741-1779.	8.28
Donaldson, Dave e Richard Hornbeck. "Railroads and American economic growth: A "market access" approach." <i>The Quarterly Journal of Economics</i> 131, nº 2 (2016): 799-858.	8.22
Caliendo, Lorenzo, e Fernando Parro. "Estimates of the Trade and Welfare Effects of NAFTA." <i>The Review of Economic Studies</i> 82, nº 1 (2015): 1-44.	8.64
Costinot, Arnaud, Dave Donaldson, e Ivana Komunjer. "What goods do countries trade? A quantitative exploration of Ricardo's ideas." <i>The Review of economic studies</i> 79, nº 2 (2012): 581-608.	6.53
Simonovska, Ina, e Michael E. Waugh. "The elasticity of trade: Estimates and evidence." <i>Journal of international Economics</i> 92, nº 1 (2014): 34-50.	4.10
Head, Keith e Thierry Mayer. "Gravity Equations: Workhorse, Toolkit, Cookbook". In: Gopinath, Gita, Elhanan Helpman, and Kenneth Rogoff. <i>Handbook of International Economics</i> , vol. 4. Amsterdam: North-Holland, 2014.	6.74

Nota: A tabela resume os valores estimados para a elasticidade de troca (θ) na literatura econômica.

Fonte: CPI/PUC-Rio, 2023

DESMATAMENTO

Um dos principais benefícios desse modelo é que ele permite que os tomadores de decisão entendam melhor os possíveis impactos ambientais do desenvolvimento da infraestrutura para além da trajetória do projeto. A incorporação de dados de desmatamento nos permite entender o impacto mais amplo do desmatamento decorrente da expansão dos mercados.

Uma vez construído o acesso a mercado, o próximo passo é conectá-lo aos dados de desmatamento. Isso é feito estimando-se uma relação estatística entre a variável de acesso ao mercado e a conversão do uso da terra. Os dados de desmatamento precisam ser agregados no mesmo nível da variável de acesso ao mercado - ou seja, se o acesso ao mercado for municipal, os dados de desmatamento precisam medir o desmatamento de cada município.

A Tabela 4 apresenta possíveis fontes de dados para a variável desmatamento.

Tabela 4. Dados de Desmatamento

Fonte	Cobertura
Processos do INPE	Anos de 1988 - 2021
Mapbiomas	Anos de 1985 - 2021
Censo Agropecuário IBGE	Decênios 1980 - 2020
Hansen - Global Forest Change	Anos de 2000 - 2020

Nota: A tabela mostra potenciais fontes de dados para construir a medida de desmatamento.

Fonte: CPI/PUC-Rio, 2023

ESTIMANDO A RELAÇÃO ENTRE ACESSO A MERCADO E DESMATAMENTO

O objetivo é entender o impacto que o aumento do acesso a mercado tem sobre o desmatamento. Para tal, é necessário estimar um modelo estatístico que ligue as duas variáveis. Esse modelo estatístico depende dos dados disponíveis. O nível espacial dos dados - dados municipais ou do setor censitário, por exemplo - determina a granularidade em que o desmatamento pode ser previsto. A dimensão temporal - se há mais de um ano de observação de acesso a mercado e do desmatamento - permite criar um modelo mais sofisticado onde características específicas de cada mercado podem ser consideradas.

Um modelo estatístico simples é um modelo log-linear relacionando o desmatamento cumulativo e o acesso a mercado.

$$\log Defo_m = \alpha + \beta \log MarketAccess_m + erro_m$$

O coeficiente β estimado mostra o efeito percentual que um aumento de 1% no acesso a mercado tem sobre o desmatamento.

Com o parâmetro β estimado, qualquer alteração na infraestrutura de transporte pode ser traduzida em desmatamento. Se uma nova rodovia, por exemplo, gera uma mudança no acesso ao mercado de $\% \Delta MarketAccess_m$ em cada mercado m , então a mudança no desmatamento pode ser expressa da seguinte forma:

$$\% \Delta Defo_m \cong \beta \% \Delta MarketAccess_m$$

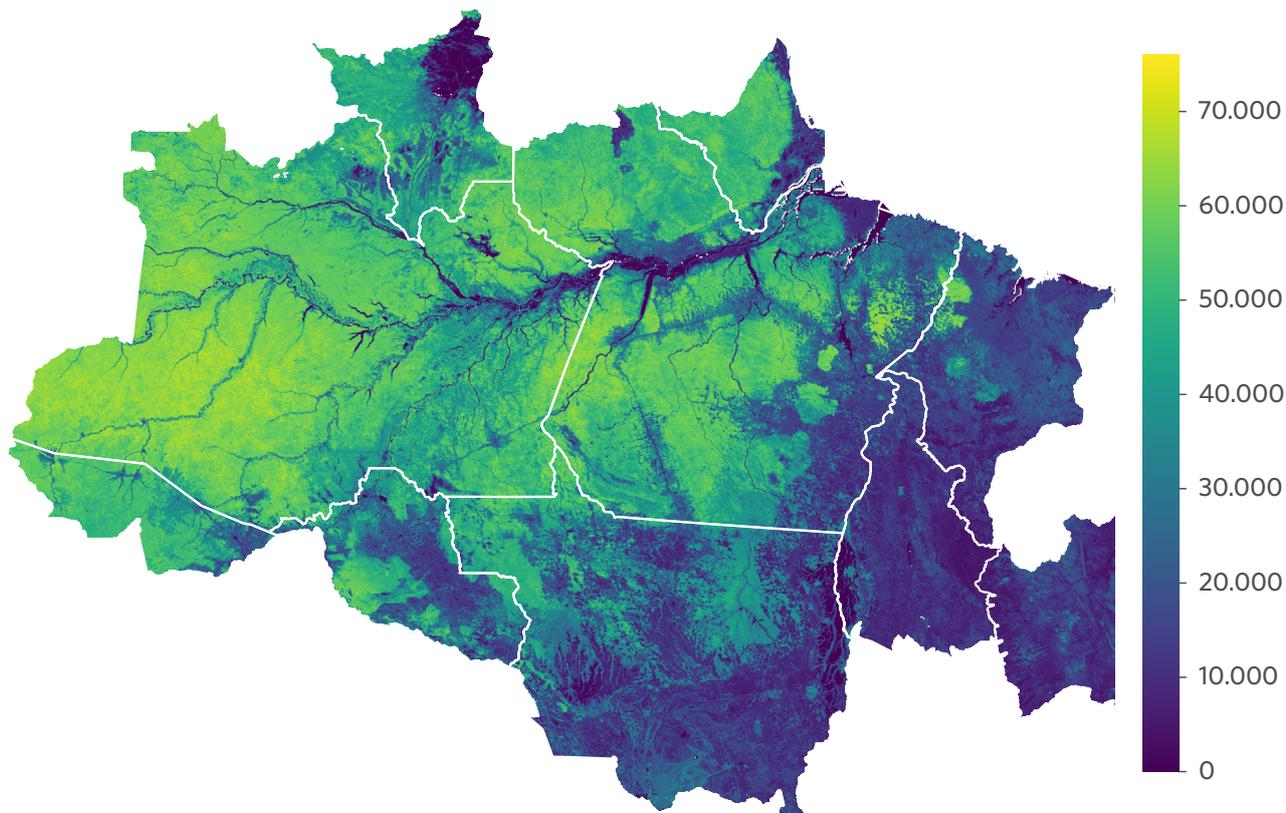
EMISSÕES DE CARBONO

Uma vez avaliada o efeito em desmatamento, é possível sobrepor os dados de desmatamento e os dados de estoque de carbono para medir as emissões de carbono do projeto.

Um método simples é multiplicar a área desmatada por um estoque médio de carbono na Amazônia. Por exemplo, o Fundo Amazônia (nota técnica nº 2093/2018-MMA) define o potencial de emissão de CO₂ de 48.510 por km².

Uma análise mais detalhada pode ser feita sobrepondo-se um mapa de áreas de desmatamento e um mapa de estoque de carbono. A Figura 10 mostra um mapa de densidade de carbono (Baccini et al. 2012) medido como liberação potencial de CO₂ por km². Com um mapa de densidade de carbono, cada área desmatada apresentará uma pegada de carbono diferente, possibilitando uma comparação mais precisa dos custos ambientais de projetos de infraestrutura diversos.

Figura 10. Estoque de Carbono na Amazônia



Nota: A figura mostra um mapa da densidade de CO₂ medida como liberação potencial de CO₂ por km².

Fonte: CPI/PUC-Rio com base nos dados de Baccini et al. (2012), 2023

APLICANDO A METODOLOGIA

Esta seção apresenta um exemplo simplificado de como passar por todas as etapas apresentadas na Figura 1. Para facilitar a visualização, o estado brasileiro do Amapá e sua infraestrutura viária foram escolhidos como exemplo ilustrativo. A Figura 11a mostra os municípios do Amapá – que representam os mercados neste exemplo – e a infraestrutura viária. O exemplo calcula o efeito de desmatamento de uma estrada fictícia – a linha vermelha na Figura 11b. Para estudos de caso mais realistas, consulte as publicações anteriores da CPI/PUC-Rio (Bragança et al. 2021; Araujo, Assunção e Bragança 2020).

O primeiro passo descrito na Figura 1 é calcular os custos de comércio bilateral entre todos os mercados - neste caso, entre todos os municípios do Amapá. Para calcular esse custo de transporte, são coletados dados de estradas estaduais e federais de 2010 do Ministério dos Transportes.

Os dados na Figura 11a são convertidos em um grafo no qual o custo para atravessar um nó de rodovia é definido como 1 e o custo para atravessar um nó fora de rodovia é definido como 100. Essa escolha de valores pode ser entendida como se fosse permitido aos agentes se deslocar a pé e pagar um custo muito alto por isso. Para um algoritmo de trajeto ótimo, a magnitude não é relevante, mas sim a proporção entre diferentes custos. O custo de transporte é, então, normalizado para que o custo médio de transporte seja de 10%, refletindo um custo logístico médio do total de custos agrícolas no Amapá. O resultado é apresentado na Figura 11c, onde para cada município (linha) há dados de custo de transporte para todos os outros municípios (colunas).

Figura 11. Custo de Transportes em Diferentes Cenários

Figura 11a. Rodovias no Amapá

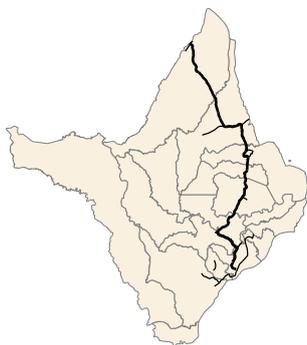


Figura 11b. Construção de Rodovia Hipotética no Amapá

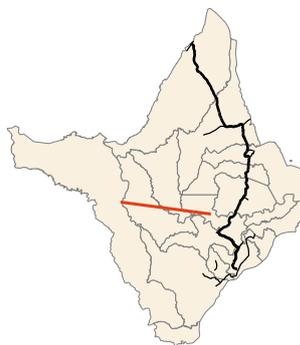


Figura 11c. Custo Bilateral

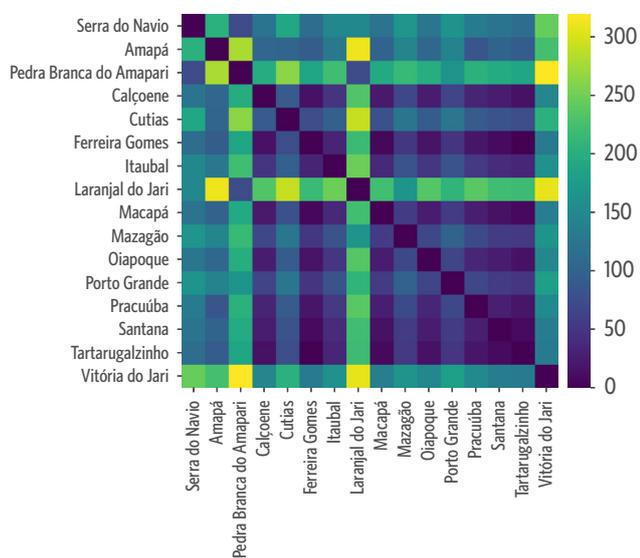
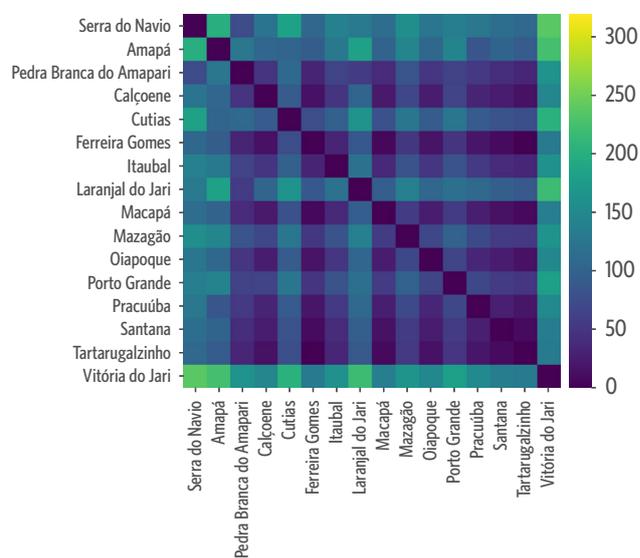


Figura 11d. Custo Bilateral com a Nova Rodovia



Nota: A figura mostra os municípios do estado do Amapá – neste exemplo, eles são os mercados – e a infraestrutura viária estadual (11a); uma rodovia hipotética é construída, representada pela linha vermelha no mapa (11b); o custo de comércio bilateral entre todos os municípios do Amapá é apresentado em (11c), onde o par (linha, coluna) denota o custo de transporte de ir do município linha ao município coluna; a nova rodovia altera o custo de transporte, gerando uma nova matriz de custos bilaterais de comércio (11d).

Fonte: CPI/PUC-Rio com base nos dados do Censo IBGE (2010) e do Ministério dos Transportes, 2023:

A segunda etapa descrita na Figura 1 é coletar dados sobre o tamanho do mercado e calcular o acesso ao mercado. Neste exemplo, os dados populacionais são do censo demográfico de 2010, descritos na Figura 11a. Com os dados de tamanho do mercado, o acesso a mercado pode ser calculado simplesmente multiplicando-se a matriz da Figura 10c pelos dados populacionais. O resultado é apresentado na Figura 11b. Aqui, o acesso ao mercado é normalizado de modo que o valor mais alto seja definido como 1.

O terceiro passo é coletar dados sobre desmatamento e estimar um modelo estatístico de desmatamento e acesso ao mercado. Os dados de desmatamento mostram o desmatamento acumulado de cada município do estado até 2010, conforme calculado pelo projeto Mapbiomas. A Figura 12c mostra os dados. O modelo simples da expressão 1 é estimado.

A Figura 12d mostra um gráfico de correlação do logaritmo de desmatamento e acesso a mercado com a linha que indica o modelo ajustado. Um aumento de 1% no acesso ao mercado está associado a um aumento de 0,7% no desmatamento acumulado.

Figura 12. Acesso a Mercado e Desmatamento

Figura 12a. População

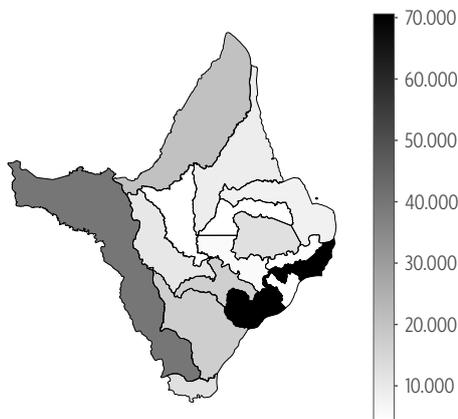


Figura 12b. Acesso a Mercado

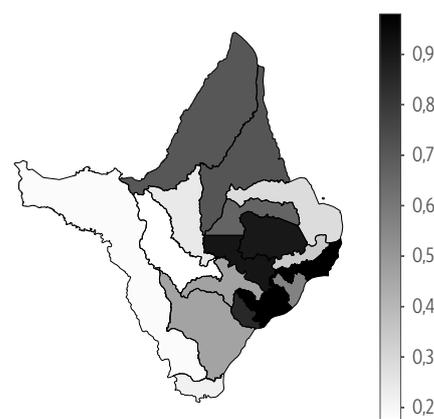


Figura 12c. Desmatamento

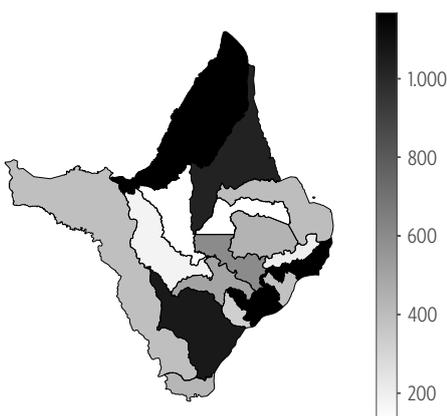
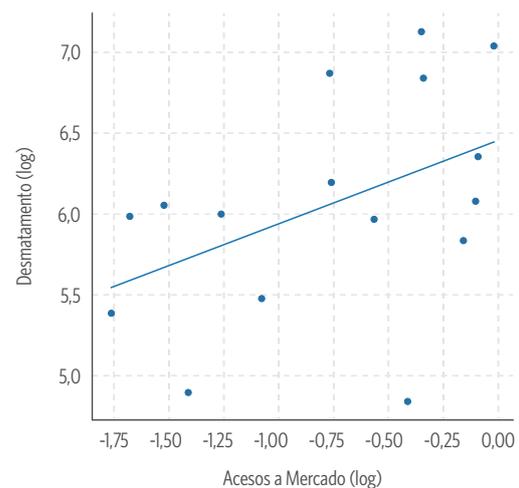


Figura 12d. Acesso a Mercado e Desmatamento



Nota: A figura mostra a distribuição da população, o tamanho do mercado neste exemplo (12a); o acesso ao mercado calculado (12b); o desmatamento acumulado (12c); a relação entre (log de) acesso ao mercado e (log de) desmatamento (12d).

Fonte: CPI/PUC-Rio com base nos dados do Censo IBGE (2010), do Ministério dos Transportes e do MapBiomas, 2023

A etapa final é propor uma mudança na rede de infraestrutura. Neste exemplo, uma nova rodovia é criada e representada pela linha vermelha na Figura 11b. Com essa nova rodovia é calculada uma nova matriz de custos bilaterais, apresentada na Figura 10d. A nova rodovia reduz significativamente o custo do transporte no estado, como pode ser visto na comparação entre as Figuras 11c e 11d.

Com a nova matriz de custos bilaterais e os dados do tamanho do mercado, um novo acesso a mercado é calculado, apresentado na Figura 13a. Finalmente, o modelo estimado da Figura 12d pode ser aplicado para prever o desmatamento causado por essa mudança no acesso ao mercado, conforme aparece na Figura 13b.

Figura 13. Impacto de uma Nova Estrada

Figura 13a. Acesso a Mercado

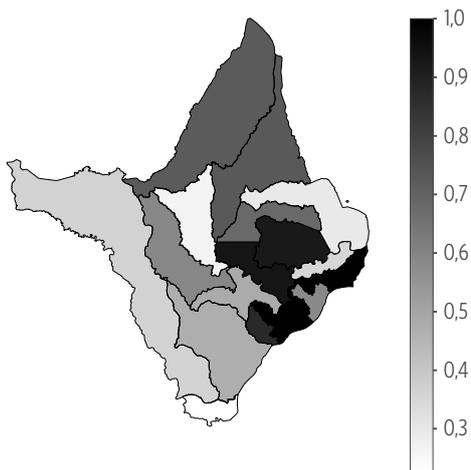
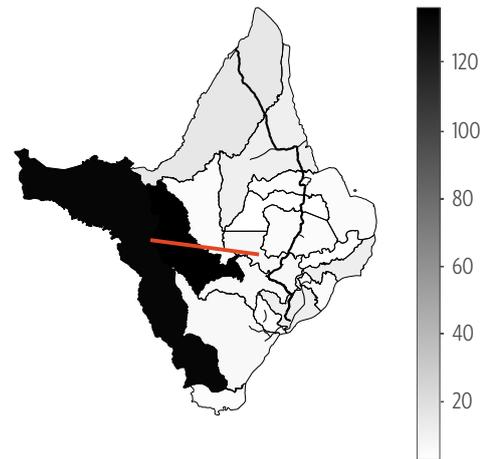


Figura 13b. Desmatamento



Nota: A figura mostra o acesso ao mercado após a construção da nova rodovia (13a) e o desmatamento estimado (13b).

Fonte: CPI/PUC-Rio com base nos dados do Censo IBGE (2010), do Ministério dos Transportes e do MapBiomas, 2023

Nesse exemplo, a estrada está associada a uma pegada de desmatamento de 368 km² - ou seja, aproximadamente 2,2 km² de desmatamento para cada km de estrada.

Usando a medida de emissão potencial de CO₂ de 48.510 por km², estima-se que o projeto libere 17 milhões de toneladas de CO₂.

CONCLUSÃO

Este documento compilou informações de diferentes fontes para construir um modelo de como avaliar o impacto ambiental de projetos de infraestrutura. A metodologia de acesso a mercado considera a dinâmica socioeconômica ao delinear a área impactada. Essa metodologia pode ser empregada em conjunto com outras para delimitar uma área de influência mais precisa.

A metodologia de acesso a mercado requer a medição de três componentes: custos de transporte, tamanho do mercado e desmatamento. O tamanho do mercado e o desmatamento podem ser facilmente acessados nas fontes de dados apresentadas nas Tabelas 2 e 4. Os dados de custo de transporte, por outro lado, precisam ser construídos com dados da rede de transporte. A conversão da rede de transporte em um grafo possibilita uma especificação flexível de diferentes modais de transporte e diferentes intervenções que podem afetar o custo de transporte, como a condição da pavimentação das estradas, os pedágios e as taxas de transbordo.

Com esses três componentes, o modelo estatístico prevê o efeito de um aumento no acesso a mercado sobre o desmatamento. A etapa final é propor uma mudança na rede de infraestrutura, calcular o acesso a mercado nesse cenário hipotético e aplicar o modelo estatístico para estimar a área de influência da mudança proposta.

Ao aplicar essa metodologia, governos, sociedade civil e o setor privado podem estimar *ex-ante* o impacto da infraestrutura de transporte, permitindo uma melhor avaliação dos custos e benefícios e a hierarquização da carteira de projetos disponíveis, identificando as populações que serão afetadas e desenhando políticas de compensação e mitigação.

REFERÊNCIAS

Addison, Douglas M. e Benjamin Stewart. "Nighttime lights revisited: the use of nighttime lights data as a proxy for economic variables." *World Bank Policy Research Working Paper* 7496 (2015).

Araujo, Rafael, Arthur Bragança e Juliano Assunção. *Acessibilidade na Amazônia Legal: Delimitação da Área de Influência e Riscos Ambientais*. Amazônia 2030, 2022. bit.ly/AMZInfluenciaERiscos.

Araujo, Rafael, Juliano Assunção e Arthur Bragança. *Os Impactos Ambientais da Ferrogrão: Uma avaliação ex-ante dos riscos de desmatamento*. Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, 2020. bit.ly/ImpactosFerrograo.

Baccini, A. G. S. J., S. J. Goetz, W. S. Walker, N. T. Laporte, Mindy Sun, Damien Sulla-Menashe, Joe Hackler et al. "Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps." *Nature climate change* 2, nº 3 (2012): 182-185.

Bragança, Arthur, Luiza Antonaccio, Brenda Prallon, Rafael Araújo, Ana Cristina Barros e Joana Chiavari. *Governança, Área de Influência e Riscos Ambientais de Investimentos de Infraestrutura de Transportes: Estudos de Caso no Estado do Pará*. Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, 2021. bit.ly/EstudodeCasoPara.

Caliendo, Lorenzo, e Fernando Parro. "Estimates of the Trade and Welfare Effects of NAFTA." *The Review of Economic Studies* 82, nº 1 (2015): 1-44.

Chiavari, Joana, Luiza Antonaccio, Rafael Araujo, Ana Cristina Barros, Arthur Bragança e Gabriel Cozendey. *Infraestrutura Terrestre na Amazônia: Ações para Sustentabilidade*. Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, 2022. bit.ly/SustentabilidadeAMZ.

Costinot, Arnaud, Dave Donaldson e Ivana Komunjer. "What goods do countries trade? A quantitative exploration of Ricardo's ideas." *The Review of Economic Studies* 79, nº 2 (2012): 581-608.

Donaldson, Dave e Richard Hornbeck. "Railroads and American economic growth: A "market access" approach." *The Quarterly Journal of Economics* 131, nº 2 (2016): 799-858.

Eaton, Jonathan e Samuel Kortum. "Technology, geography, and trade." *Econometrica* 70, nº 5 (2002): 1741-1779.

Head, Keith e Thierry Mayer. "Gravity Equations: Workhorse, Toolkit, Cookbook" In: Gopinath, Gita, Elhanan Helpman, and Kenneth Rogoff. *Handbook of International Economics*, vol. 4. Amsterdam: North-Holland, 2014.

Mills, Stephen, Stephanie Weiss e Calvin Liang. "VIIRS day/night band (DNB) stray light characterization and correction". In: Butler, James J., Xiaoxiong (Jack) Xiong e Xingfa Gu. *Earth Observing Systems XVIII*, 8866, 549-566. San Diego: SPIE, 2013.

Redding, Stephen e Anthony J. Venables. "Economic geography and international inequality." *Journal of International Economics* 62, n° 1 (2004): 53-82.

Simonovska, Ina e Michael E. Waugh. "The elasticity of trade: Estimates and evidence." *Journal of international Economics* 92, n° 1 (2014): 34-50.

Zhao, Chenchen, Xin Cao, Xuehong Chen e Xihong Cui. "A consistent and corrected nighttime light dataset (CCNL 1992-2013) from DMSP-OLS data". *Scientific Data* (2022). bit.ly/NighttimeLight.

climatepolicyinitiative.org