

# Os impactos do pólo siderúrgico de Carajás no desflorestamento da Amazônia brasileira \*

EUSTÁQUIO J. REIS

## INTRODUÇÃO

A aceleração do processo de desflorestamento da Amazônia brasileira nas décadas recentes foi, em grande parte, resultado das políticas de desenvolvimento regional. Merecem destaque, nesse sentido, os investimentos em rodovias a partir do final dos anos cinquenta; os incentivos fiscais e creditícios administrados pela SUDAM (Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia) desde meados dos sessenta e, finalmente, os projetos de colonização associados aos principais eixos rodoviários (Mahar 1989, Reis e Margulis 1991, Osório de Almeida 1993).

Outras importantes iniciativas foram os projetos governamentais na geração de energia hidro-elétrica e de extração de mineral do início dos anos oitenta. Dentre essas, o Projeto Minério de Ferro Carajás (PMFC), localizado no município de Marabá, sudeste do Pará (Figura 1) constitui, de longe, a mais notável. Nesse empreendimento controlado pela CVRD (Cia. Vale do Rio Doce) foram investidos, a partir de 1980, recursos da ordem de 3 bilhões de dólares na extração de minério de ferro (em mina de céu aberto com reservas estimadas em 18 bilhões de toneladas de minério com 66% de teor); na planta industrial para produzir *sinter feed* e *pellets* (com capacidade prevista de 35 milhões de toneladas por ano); e na Estrada de Ferro Carajás (EFC) que se estende 890 km, ligando Carajás ao porto de São Luiz do Maranhão. Complementando os projetos da CVRD, 4.6 bilhões de dólares foram investidos na construção da usina hidroelétrica de Tucuruí, localizada entre Carajás e Belém, que possui um potencial de 8 mil MW e um espelho d'água de 2.430 km<sup>2</sup>.

Como estímulo adicional para os investimentos do setor privado, em 1980 o governo criou o PGC (Programa Grande Carajás) para conce-

---

\* Esse trabalho baseia-se no relatório de pesquisa "Os padrões geográficos de incidência dos efeitos econômicos e ambientais do Programa Grande Carajás" realizada para o Banco Mundial e Ministério de Integração Regional. Os resultados e opiniões expressos nesse trabalho são de responsabilidade exclusiva do autor. Agradeço a colaboração dos assistentes de pesquisa Francisco Eduardo Mendes, Fernando Blanco e Andrea Amancio, e também os comentários de Ricardo Varsano e John Redwood, sem responsabilizá-los pelos erros remanescentes.

der incentivos fiscais específicos para os projetos agrícolas e industriais que se instalassem na área de 900.000 km<sup>2</sup> que circunda o polo mineratório. Entre os projetos incentivados pelo PGC, destacam-se as seis plantas de ferro-gusa instaladas no corredor de municípios trafegados pela Estrada de Ferro Carajás, cuja capacidade de produção atual é de 770 mil toneladas. Juntamente com a mineração, esses projetos constituem o Polo Siderúrgico de Carajás (PSC). A Figura 1, identifica no corredor da EFC aqueles municípios onde estão instaladas as plantas de ferro-gusa.

As principais conseqüências ambientais do PSC estão associadas com o desflorestamento e a degradação de florestas tropicais. Adicionalmente, deve-se mencionar a poluição hídrica e aérea causadas nas áreas urbanas pelas atividades industriais induzidas pelo PSC. E, finalmente, as condições habitacionais e sanitárias na região constituem aspectos fundamentais para uma avaliação adequada das conseqüências ambientais do PSC. Esse trabalho, contudo, trata exclusivamente dos efeitos do PSC sobre o desflorestamento.

Pelas características técnicas dos projetos envolvidos, os impactos ambientais diretos do PSC tendem a ser geograficamente concentrados. Sobretudo nos projetos controlados pela CVRD, a identificação da responsabilidade governamental induziu maior rigor com o monitoramento, controle e mitigação dos impactos ambientais. Contudo, a escala desses projetos é de tal ordem que, seja em termos demográficos, econômicos ou ambientais, só através de consideração explícita dos efeitos indiretos, com focos geográfico e temporal bastante amplo, é possível uma avaliação adequada das suas conseqüências (Goodland 1985, Margulis 1990, Hall 1991, Almeida Jr. 1993).

De fato, nas avaliações ambientais do PSC é apontado que, nas áreas sob jurisdição da CVRD, cerca de 2 % do valor dos investimentos foram gastos no controle e mitigação dos efeitos da poluição do ar e das águas das minas e dos portos, e no combate à erosão de solos ao longo da ferrovia com resultados amplamente satisfatórios (Almeida Jr. 1993, CVRD 1987).

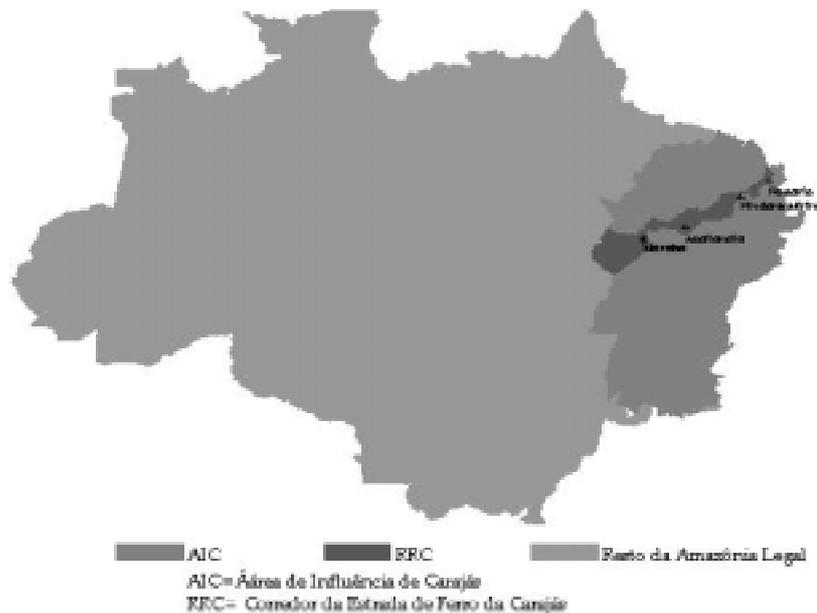
Por outro lado, a falta de preocupação com uma perspectiva regional é uma crítica recorrente. Apesar do caráter impressõesita das evidências, aponta-se que, fora das áreas de jurisdição da CVRD, os impactos ambientais do PSC foram desastrosos. Os processos acelerados de urbanização e industrialização induzidos pelo PSC geraram carências dramáticas nas infra-estruturas sanitária, habitacional e de abastecimento de água, tendo como conseqüências problemas de poluição urbana e de saúde pública.

Além disso, a ocupação agropecuária induzida pelo PSC, sobretudo na Área de Influência de Carajás (Figura 1), teria assumido um caráter verdadeiramente predatório, em grande parte devido às atividades de extração de madeiras associadas à produção de carvão vegetal. Para o desflorestamento, especificamente, mencionam-se cifras de 1.500 km<sup>2</sup> por

ano, apenas para abastecer a demanda de carvão siderúrgico (Anderson 1990) e de impactos totais da ordem de 100.000 km<sup>2</sup> (Freitas e Soares 1994).

Apesar de todo o alarde, a demanda de madeira para transformação em carvão siderúrgico não constitui, diretamente, uma fonte de pressão importante sobre as florestas nativas. Isso porque a demanda derivada de madeira é suprida, em grande parte, pelos resíduos de madeira provenientes das atividades madeireiras e agropecuárias. Em 1993, essas atividades responderam por 67% e 16%, respectivamente, do carvão vegetal consumido pelo PSC, sendo o restante suprido por áreas de manejo florestal. Note, contudo, que indiretamente a demanda de carvão vegetal aumentando a lucratividade dessas atividades, estimula o desflorestamento (ENLW, 1994).

Os impactos mais importantes do PSC sobre o desflorestamento resultam, portanto, dos seus efeitos indiretos. Assim, a industrialização e urbanização induzida pelos investimentos do PSC estimulam o desmatamento para permitir a expansão das áreas agrícolas, bem como a degradação das florestas nativas para suprir a demanda derivada de madeiras para suprir a demanda por alimentos das populações urbanas e matérias-primas das indústrias.



**Figura 1.** Amazônia Legal (Estrada de ferro de Carajás)

O objetivo desse trabalho é avaliar os efeitos indiretos do PSC sobre o desflorestamento. Com essa finalidade, utiliza-se um modelo econométrico estimado e simulado em nível municipal para a Amazônia Legal (AML) e para as sub-regiões identificadas como Corredor da Estrada de Ferro Carajás (EFC) e a Área de Influência de Carajás (AIC). Além dos resultados, interessa a metodologia do trabalho que é aplicável para a análise de outros efeitos ambientais, bem como para problemas afins.

A opção pelo nível municipal justifica-se por ser este o nível geográfico mais desagregado para o qual se dispõe de informações sistemáticas sobre aspectos econômicos, demográficos e ecológicos para a AML como um todo. Para a avaliação das conseqüências ambientais, o detalhamento geográfico adquire importância fundamental, pois poluição e degradação de recursos naturais são conceitos intrinsecamente relacionados à densidade espacial dos estoques e dos fluxos desses recursos.

A desagregação geográfica é particularmente relevante na análise do desflorestamento. A ocorrência do desmatamento em determinada área depende, naturalmente, da densidade espacial das atividades agropecuárias e extrativas nessa área. Essa, por sua vez, é determinada pela disponibilidade relativa de recursos naturais (qualidade dos solos, florestas etc.), trabalho e capital em cada uma delas, bem como das suas condições de acessos (distância, infra-estrutura de transportes etc.) à mercados e fontes de matérias-primas. Essas condições condicionam as escolhas econômicas relativas ao mix das atividades ou produtos e às tecnologias de produção, ou seja, a proporção de fatores empregados (terra, trabalho e capital) e os métodos de cultivo (queimadas, silvicultura, manejo florestal etc.) empregados.

Dentre os custos ambientais decorrentes do desflorestamento tropical destacam-se, em nível global, a perda da biodiversidade e a contribuição para o efeito estufa causado pelas emissões de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ . Em nível local, incluem-se a degradação da produtividade agrícola dos solos pelo lixiviamento e perda de nutrientes, bem como pelas alterações dos ciclos hidrológicos e climáticos da região.

A intensidade da ocorrência desse efeito, por sua vez, também depende de características geo-ecológicas – vegetação predominante, densidade de biomassa na vegetação, características dos solos etc. – específicas das áreas ocupadas pelas atividades agropecuárias e extrativas.

Para uma avaliação adequada dos impactos ambientais do PSC – em termos das emissões de  $\text{CO}_2$ , da degradação dos solos ou das conseqüências para o balanço hidrográfico da região etc. – é necessário, portanto, estimar não só a extensão total do desmatamento causado pelo PSC, mas também sua incidência nos diferentes ecossistemas da região, bem como sua concentração espacial segundo os principais tipos de vegetação e solo.

Além dessa Introdução, o trabalho contém mais duas seções. A próxima seção apresenta o modelo utilizado nas simulações dos efeitos

indiretos. Os resultados das simulações dos efeitos econômicos e ambientais do PSC são discutidas na terceira seção.

## O MODELO

A análise das interações entre os processos de desflorestamento, ocupação agropecuária, urbanização e industrialização constitui o cerne do modelo. As hipóteses básicas do modelo são que o crescimento populacional e a expansão da malha rodoviária são os motores da ocupação econômica da Amazônia brasileira e que a utilização agropecuária das terras constitui a principal causa imediata do processo de desflorestamento. Isso implica supor que a extração de madeira desempenha um papel subsidiário ou induzido pela ocupação pecuária.

Além disso, o modelo supõe que os padrões de crescimento populacional, caracterizados pelos diferenciais geográficos e rural/urbano das taxas de crescimento, estão determinados por características demográficas e econômicas do município. A variável exógena por excelência seria, portanto, a expansão da malha rodoviária que pode ser vista como uma “proxy” para os investimentos governamentais na infra-estrutura econômica.

Na sua versão atual, uma deficiência notável do modelo é não permitir avaliar os efeitos indiretos do PSC sobre as atividades de extração de madeira para transformação em carvão siderúrgico. Para tanto, seriam necessárias informações sobre custos (em particular de transportes) nas atividades madeireiras e carvoeiras que, simplesmente, não estão disponíveis. Essa deficiência é especialmente lamentável, por ser esta uma das grandes fontes das preocupações ecológicas comumente externadas em relação a esse programa de investimentos.

O modelo contém seis blocos de equações. O primeiro, determina o crescimento da malha rodoviária, bem como sua composição em termos de estradas pavimentadas e não pavimentadas; o segundo bloco especifica a dinâmica demográfica; o terceiro bloco determina o produto das atividades urbanas; o quarto bloco especifica o produto e a demanda derivada por terras nas atividades agropecuárias; o quinto bloco determina o desflorestamento e a extração de madeiras em função do uso e terra nas atividades agropecuárias; finalmente, o sexto bloco especifica os impactos do desflorestamento e do uso de terras nas atividades agropecuárias para as emissões de dióxido de carbono.

### EXPANSÃO DA MALHA RODOVIÁRIA

A malha rodoviária municipal é, supostamente, uma variável exógena determinada por decisões de políticas estadual ou federal. Essas decisões estão refletidas na malha rodoviária planejada que, no modelo, supõe-se

que exige T anos para ser totalmente construída. Assim, para cada município, a expansão da malha rodoviária em um período de T anos será igual a malha rodoviária planejada no início do período. Para fins de simulação faremos T = 20 anos e 1985 o ano inicial. Além disso, o modelo supõe que, em cada municipalidade, a expansão da malha rodoviária se dá a uma taxa linear constante no tempo.

$$(1) \quad \div R_{t, 85} \mid R_{85}^p * (t - 1985) / (2005 - 1985)$$

onde o subscrito t refere-se ao ano, e

$$R_t = \div R_{t, 85} \cdot R_{85}$$

$R_t$  = malha rodoviária municipal no ano t

$R_{85}^p$  = malha rodoviária municipal planejada no ano de 1985

Note-se que se trata de uma hipótese simplificadora pois os investimentos na malha rodoviária, bem como nos demais tipos de infra-estrutura, freqüentemente são determinados endogenamente (Binswanger and Kandhekar 1992, Pitt et al. 1993) por desenvolvimentos econômicos imprevistos, implicando expansão da malha em ritmos e direção distintas daquela originalmente planejada.

A segunda equação especifica a composição da malha rodoviária em termos de rodovias pavimentadas e não pavimentadas, em função das condições demográficas, econômicas e ecológicas do município e de seus vizinhos. Vale dizer, que não obstante a malha rodoviária ser uma variável exógena, a distribuição da malha entre estradas pavimentadas e não pavimentadas é determinada endogenamente pelas condições sócio-econômicas de cada município. É como se existisse uma demanda por pavimentação em cada município, que fosse satisfeita através de um processo de ajuste parcial, que se explica por custos dinâmicos de ajustamento.

$$(2) \quad SPV_t = f(SPV_{t-1}, Y_{u,t-1}, Y_{r,t-1}, P_{u,t}, P_{r,t}, E_{t-1}, W_{t-1}, Z)$$

onde:

$SPV_t$  = porcentagem de estradas pavimentadas no ano t

$Y_{u,t}$  = produto das atividades urbanas (indústria, comércio e serviços) no ano t

$Y_{r,t}$  = produto das atividades agropecuárias (inclusive das atividades florestais) em t

$P_{u,t}$  = população urbana no ano t

$P_{r,t}$  = população rural no ano t

$E_t$  = vetor de variáveis econômicas (como estradas, domicílios com acesso a eletricidade etc.)

$W_t$  = vetor de variáveis socio econômicas dos municípios vizinhos no ano  $t$   
 $Z$  = vetor de variáveis geo-ecológicas (invariantes no tempo)

#### DINÂMICA POPULACIONAL

O segundo bloco (equações 3-4) especifica a dinâmica das populações rural e urbana. A hipótese básica é que as taxas de crescimento da população urbana e rural estão predeterminadas pelas condições sócio-econômicas vigentes no município e nos municípios vizinhos, no passado recente – isto é, à época do Censo Demográfico anterior. Essas condições podem ser sumariadas pela população e renda nas áreas urbanas e rural; pela acessibilidade ou custo de transporte tal como refletida pelas distâncias aos principais mercados (capitais estaduais) e na densidade da malha rodoviária; e pela infra-estrutura sócio-econômica das áreas urbanas (acesso à eletricidade, água encanada etc.), bem como pelas condições de apropriação da terra (disponibilidade, direitos de propriedade etc.) nas áreas rurais

$$(3) G_{u,t} | f(Y_{u,t-1}, Y_{r,t-1}, P_{u,t-1}, P_{r,t-1}, E_{t-1}, W_{t-1}, Z)$$

$$(4) G_{r,t} | f(Y_{u,t-1}, Y_{r,t-1}, P_{u,t-1}, P_{r,t-1}, E_{t-1}, W_{t-1}, Z)$$

onde  $G_{x,t} = X / X_{t-1}$  = índice de crescimento de  $X$  no período  $t$ .

#### PRODUTO DAS ATIVIDADES URBANAS

O produto é especificado, na equação 5, como função da população urbana, das condições de acessibilidade, tanto no município como nos seus vizinhos. O modelo supõe a possibilidade de economias de escala no produto urbano em relação à população urbana; além disso, supõe a existência de custos de ajustamento que dá origem a processos de ajustamentos parciais (Henderson 1974, Hall 1993, Krugman and Berziz, 1994)

#### UTILIZAÇÃO DA TERRA, PRODUTIVIDADE E PRODUTO NAS ATIVIDADES AGROPECUÁRIAS

O modelo supõe a existência de funções de produção para as principais atividades agropecuárias – lavouras permanentes, temporárias, pecuária e terras em descanso – que diferem entre municípios dependendo das condições sócio-econômicas (densidade populacional rural e urbana), agro-técnicas (solos, vegetação etc.) e de acessibilidade (malha rodoviária e fluvial, portos e distância dos principais mercados) prevaletentes no municípios e nos municípios vizinhos (Binswanger et al. 1987). Assim, nas equações 6-8, além dos preços de produtos e fatores, a utilização da

terra e a produtividade da terra depende dos fatores acima mencionados. Supõe-se, além disso, que a existência de custos de ajustamentos da oferta agropecuária justifica a especificação da variável dependente.

$$(6) \quad A_{k,t} \mid f(A_{k,t-1}, M_t, P_{u,t}, P_{r,t}, E_{t,j}, W_t, Z)$$

$$(7) \quad A_{k,t} \mid f(A_{k,t-1}, M_t, P_{u,t}, P_{r,t}, E_{t,j}, W_t, Z)$$

$$(8) \quad Y_{k,t} = A_{k,t} \Delta A_{k,t}$$

onde o subscrito t refere-se a ano e k (k = 1, 2, ..., f) refere-se às atividades agropecuárias ou usos da terra – lavouras permanentes e temporárias, pastagens (pecuária), e inclusive terras em pousio, que é denotada pelo subscrito f. Note que exclui-se a extração de madeira das atividades agropecuárias e que as terras em pousio, supostamente, não geram produto.

- $A_{k,t}$  = área utilizada na atividade k,
- $P_t$  = vetor of preços de produto, terra e trabalho,
- $F_{k,t}$  = rendimento físico da terra na atividade k,
- $Y_{k,t}$  = valor do produto na atividade k

#### DESFLORESTAMENTO

Na equação 9, o desflorestamento é definido simplesmente como a variação líquida na área utilizada pelas atividades agropecuárias, inclusive as terras em descanso. Essa definição omite o impacto direto sobre o desflorestamento de outros usos da terra – como extração de madeira e outras atividades florestais, assentamentos urbanos, áreas de mineração, leitos de rodovias, barragens, entre outros.

$$(9) \quad \Delta D_t \mid \frac{\Delta A_{k,t}}{k}$$

$\Delta D_t$  = variação na área desflorestada (*change in deforested area = change in agropastoral land use, including fallow areas*).

Estimativas do impacto direto sobre o desflorestamento de rodovias, assentamentos urbanos e barragens poderiam ser feitas sem grandes dificuldades. No caso de extração de madeiras e mineração, sobretudo de garimpo, existem maiores dificuldades, tanto na estimação da sua incidência espacial como dos impactos diretos sobre o desflorestamento.

A equação 10 fecha a modelagem do desflorestamento distribuindo sua incidência entre os principais tipos de vegetação (florestas/não-florestas) em cada município, dependendo da densidade geográfica do desflorestamento, das características geo-ecológicas (vegetação e solos, em especial), acessibilidade e atividades urbanas do município.

$$(10) \quad \div D_{v,t} \mid f(\div D_t, A_{k,t}, PU_t, E_t, W_t, Z)$$

onde o subscrito  $v$  ( $v = 1, 2$ ) refere-se às classes de vegetação – florestas, incluindo densas, abertas e transição ecológica, e não florestas, incluindo cerrado, formações pioneiras e campinaranas.

As atividades de extração de madeira são, supostamente, induzidas pelo desflorestamento causado pelas demais atividades agropecuárias. Assim, na equação 11, o volume extraído de madeira é função do desflorestamento, dos preços de madeira, densidade das serralherias, malha rodoviária, e características geo-ecológicas (vegetação, distância etc.). A possibilidade que a expansão das áreas agriculturáveis se faça através da redução das terras em descanso justifica a inclusão dessa variável entre as variáveis independentes. Finalmente, população urbana é introduzida como *proxy* para as atividades urbanas que afetam a demanda de madeira.

$$(11) \quad M_t \mid f(\div D_t, P_{u,t}, L_t, M_{m,t}, E_t, W_t)$$

$M_t$  = volume de madeira extraída,  
 $L_t$  = volume de produção das serrarias  
 $P_{m,t}$  = preço da tora de madeira

A equação 12 do modelo, define o valor total do produto do setor agropecuário incluindo o produto das atividades de extração de madeiras.

$$(12) \quad Y_{r,t} \mid \frac{Y_{k,t}}{k} + M_{m,t} * M_t$$

#### EMISSIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO

O sexto e último bloco do modelo quantifica os efeitos do desflorestamento e do uso da terra em atividades agropecuárias sobre as emissões de dióxido de carbono para a atmosfera. Isso é feito a partir da especificação da dinâmica do carbono na vegetação e no solo.

As emissões líquidas de  $CO_2$  para a atmosfera resultam do balanço entre emissões causadas pela queimada e decomposição da biomassa remanescente, e a reabsorção de carvão causada pela recomposição da biomassa com o crescimento da vegetação secundária.

A absorção de carbono nas áreas em pousio é determinada pela recuperação da biomassa (produtividade primária) na vegetação secundária que depende: (a) das características fit-ecológicas da área (vegetação original, solo, intensidade e extensão da degradação etc.), e (b) da “safra” ou idade média da área em pousio que é determinada pelas equações 13 e 14, onde se supõe que as áreas de pousio com idade  $i$  só são utilizadas quando aquelas de idade  $j > i$  estiverem exauridas.

$$\begin{aligned}
 (13) \quad & A_{f,t,i} | A_{f,t-1,i-1} \text{ se } \div A_{f,t} | 0 \text{ e } i | 1 \\
 & = \div A_{f,t,j} \text{ se } \div A_{f,t} | 0 \text{ e } i=1 \\
 & = \frac{(A_{f,t-1,i-1} \div A_{f,t})}{i} \text{ se } \div A_{f,t} \text{ (R)}, i^* e \frac{(A_{f,t-1,i-1} \div A_{f,t})}{i} | 0 \\
 & = 0 \text{ se } \div A_{f,t} \text{ (R)}, i | i^* e \frac{(A_{f,t-1,i-1} \div A_{f,t,j})}{i} \text{ (R)}
 \end{aligned}$$

onde:

$A_{f,t,i}$  = área em pousio de idade I no ano t

$i^*$  = a idade mínima para que uma área em pousio retorne á atividades agropastorais, supostamente igual entre municípios e constante no tempo.

$$(15) \quad A_{f,i,t}^* \div A_{f,t,i} | 0$$

Para simular o modelo, é necessário conhecer a idade média das terras em pousio, em cada município, no período inicial da análise. Como não se dispõe dessa informação, o modelo supõe que (a) em cada município, a idade média das terras em pousio está relacionada com a proporção das áreas em pousio no município, como descrito pelas equações 16 e 17, e (b) e que a idade média das terras em pousio da Amazônia como um todo, no ano inicial,  $I_{A0}$ , é dada exógenamente, conforme explicitado na equação 18.

$$(16) \quad I_0 | K * S_{f,0} / (14 S_{f,0})$$

$$(17) \quad S_{f,0} | A_{f,0} / \frac{A_{k,0}}{k}$$

$$(18) \quad I_{A0} | \frac{I_{0,j}}{j} * \left( \frac{A_{f,t,i,j}}{i} / \frac{A_{f,t,i,j}}{i} \right)$$

onde:

$I_0$  = idade média das áreas em pousio no período inicial

$A_{k,0}$  = áreas efetivamente utilizadas nas atividades agropecuárias (lavouras pastagens e florestas plantadas) no ano inicial

K = parâmetro de distribuição da idade de das áreas em pousio determinado pela equação (18) onde o subíndice j refere-se a municípios.

$I_{A0}$  = idade média exogenamente suposta para as áreas em pousio da Amazônia Legal no período inicial

A recomposição da biomassa nas áreas em pousio e a decomposição gradual da biomassa nas áreas de utilização agropecuária fazem com que

a densidade de carbono, em um município qualquer, dependa das áreas dos diversos usos da terra, nesse município, e também da distribuição de safras ou idades médias dentro da área de cada uso da terra.

Portanto, para estimar o estoque de carbono na vegetação de um município qualquer, no ano  $t$ , a equação 19 distingue as áreas dos diferentes tipos de vegetação, as áreas das diferentes safras de terras em pousio, bem como as áreas das diferentes safras de utilização agropecuária da terra (nas quais incluem-se as lavouras e pastagens plantadas, mas excluem as pastagens naturais).

$$(19) C_{a,t} | \frac{c_{a,v}}{v} \Delta (A_{v,0} - 4 D_{v,t}) + \frac{c_{a,v}}{h} \Delta A_{k,h,v,t} \Delta d_{a,h,v} + \frac{c_{a,k}}{k} \Delta A_{k,t} + \frac{c_{a,f,i,t}}{i} \Delta A_{f,i,t}$$

onde

$$\frac{AD_{v,j,t}}{v} | \frac{AR_{h,v,t,j}}{h} + \frac{A_{f,i,t,j}}{i}$$

Além das diferenças nas safras de terras, o estoque de carbono na vegetação depende da dinâmica de recomposição e decomposição da biomassa que se encontra especificada nas equações 21 e 22.

$$(21) c_{a,f,i} | \frac{M_a}{12 e^{(a/4) s_a \hat{f}_i}}$$

$$(22) d_{a,h,v} | 0.7 \Delta e^{-4 r_{a,v} \hat{h}}$$

onde  $h$  designa idade ou "safra" de área agriculturada,

$C_{a,t}$  | estoque de carbono na parte aérea da vegetação

$c_{a,v}$  | conteúdo de carbono (ton/ha) na parte aérea da vegetação  $v$

$A_{v,0}$  | área da vegetação  $v$  no período inicial

$AD_{v,t}$  | área desmatada na vegetação  $v$

$c$  | conteúdo médio de carbono no município (poderado pelas áreas de vegetação)

$AC_{k,h,t}$  | área agricultada na atividade  $k$  de idade  $h$ .

$d_{a,h,v}$  | fator exponencial de decadência do carbono aéreo na vegetação  $v$  agricultada  $a$   $h$  anos atrás.

- $r_{a,v}$  | fator exponencial de decadência da biomassa aérea na vegetação;  
 $r_a$  = fator exponencial médio de decadência da biomassa aérea  
 (média ponderada pela área de  $r_{a,v}$ )
- $c_{a,k}$  | conteúdo de carbono na parte aérea das áreas agrícolas com atividade  $k$ ;  
 $ck_a$  | conteúdo médio de carbono aéreo nas áreas agrícolas (ponderado por áreas)
- $c_{a,f,i}$  | conteúdo de carbono aéreo das áreas em pousio da "safra"  $i$ ;
- $A_{f,i,t}$  | áreas em pousio da safra  $i$
- $M_a$  | conteúdo máximo de carbono aéreo na vegetação secundária das áreas em pousio;  
 $a = \ln(M_a / ck_a)$   
 $s_i = \frac{a \cdot 4 \ln(14 e)}{i_{lim}}$

A determinação do estoque de carbono no solo de um município qualquer, no ano  $t$ , é determinada por equações análogas àquelas utilizadas para se determinar o estoque de carbono na vegetação. Afora os parâmetros, a única diferença é a ausência do declínio imediato no estoque de carbono após o desflorestamento através de queimada que ocorre no caso da vegetação aérea. No solo, na verdade, observa-se um aumento no estoque de carbono. Como o modelo é simulado para intervalos de tempo de 5 anos, esse aumento no estoque de carbono imediatamente após a queima da floresta é irrelevante para fins de simulação.

#### PARÂMETROS

Os parâmetros das equações 1 a 18, que descrevem a dinâmica do desflorestamento, foram obtidos através de estimativas econométricas feitas a partir de dados censitários para o período 1970 a 1990. Os resultados dessas estimativas, bem como das fontes de dados utilizadas são discutidas em Reis (1995), onde também são discutidos os parâmetros das equações 19 a 15, que descrevem a dinâmica dos estoques de carbono na vegetação aérea e no solo, que foram obtidas de Brown & Lugo (1992), Bohrer (1993), Schroeder & Winjum (1994) e Houghton *et al.* (1991).

## AS SIMULAÇÕES

O modelo permite simular as trajetórias das populações urbana e rural, do produto das atividades urbanas e agropecuárias, da utilização e produtividade da terra nas principais atividades agropecuárias, da extração de madeiras e do desflorestamento, a partir de cenários para as variáveis exógenas – quais sejam, expansão da malha rodoviária, índices de preços das principais atividades agropecuárias e indicadores de infraestrutura pública .

A avaliação dos impactos de Carajás será feita através da comparação dos resultados das simulações, de dois cenários alternativos, para o período 1990-2010, na suposição de que um horizonte de tempo de 25 anos é suficiente para avaliar os principais efeitos do PSC.

O Cenário Básico, simula o comportamento demográfico e econômico da região para o período em caso, supondo a inexistência do PSC, ou seja, que os investimentos na estrada de ferro, na mineração e nos projetos siderúrgicos não fossem realizados.

O Cenário Potencial supõe que a implantação e operação da mineração da estrada de ferro e dos projetos siderúrgicos obedeceram ao cronograma planejado pelo Programa Grande Carajás (Biocarbo 1994).

### CENÁRIO BÁSICO

As principais hipóteses são:

(a) Quanto à expansão da malha rodoviária: que até 2005, todas as estradas planejadas em 1985 serão construídas, a uma taxa anual constante; que até 2010 a expansão se dará às mesmas taxas; e por fim, que nenhuma outra estrada será construída nesse período.

(b) Quanto ao crescimento demográfico: impôs-se como restrição adicional que o crescimento da população da AML obtida nas projeções do modelo sejam iguais àquelas disponíveis em projeções demográficas exógenas feitas em nível nacional ou regional (IPEA 1991 e Machado 1993)

(c) Quanto às demais variáveis exógenas: que elas sejam constantes no período de simulações; especificamente, isso é válido para preços da terra, do boi, e dos produtos das lavouras, para o valor dos financiamentos agrícolas em relação ao valor da produção agropecuária, o valor cumulativo real dos financiamentos da SUDAM, para as porcentagens dos domicílios com acesso a luz elétrica, água encanada e instalações sanitárias públicas e, finalmente, para a seleção de cidades que possuem portos com movimentos acima de 1 milhão de toneladas por ano.

As hipóteses acima são criticáveis em vários aspectos. Vale lembrar, contudo, que trata-se de um exercício de análise comparativa e que, portanto, os efeitos das possíveis “fraquezas” nas hipóteses serão, em grande

parte, anulados, na medida em que elas são apenas uma norma mantida constate nos dois cenários. O problema maior, nesse sentido, é que o Cenário Básico pode estar “contaminado” pelo PSC, na medida em que as estradas planejadas em 1985 e o crescimento demográfico projetado para 1985-90, “antecipam” seus efeitos.

#### CENÁRIO POTENCIAL

Além das hipóteses acima, o Cenário Potencial supõe:

(d) Quanto à implantação dos demais investimentos do PSC: o impacto é captado por um aumento exógeno (além daquele projetado no Cenário Básico) do PIB urbano dos municípios onde eles se implantam de montante igual ao valor da produção previsto nos projetos de investimentos (Biocarbo, 1994). Seria interessante, nesses aspectos, considerar um cenário que considerasse, além dos quatro projetos já em operação, as metas prevista para os demais projetos aprovados.

(e) Quanto à Estrada de Ferro Carajás: que, em cada município, seus impactos seriam equivalentes a duas vezes aqueles que ocorreriam com a construção da mesma extensão de rodovias pavimentadas, ou seja, que um quilômetro de estrada de ferro tem o mesmo impacto que dois quilômetros de estrada pavimentada. Essa taxa de equivalência adotada para a conversão de estrada de ferro e estradas pavimentadas é, naturalmente, arbitrária. Além disso, supõe-se que esses efeitos se fariam sentir a partir de 1990.

#### OS EFEITOS DA IMPLANTAÇÃO DO POLO SIDERÚRGICO DE CARAJÁS

A Tabela 1 sumaria os resultados das simulações. Em termos de crescimento da população total, os efeitos do PSC parecem relativamente pequenos. A comparação dos cenários mostra que para a AML e a AIC os efeitos são, de fato, negligenciáveis. Mesmo para os município do corredor da EFC, o aumento de população em 2010 devido ao PSC seria tão somente 87 mil pessoas a mais, o que representa 2.5% da população total no Cenário Básico, no mesmo ano.

A explicação desses resultados encontra-se, por um lado, nos aumentos de renda per capita e, por outro, nos fortes impactos sob o processo de migração rural-urbana associados ao PSC. Os resultados da estimação mostraram que, *ceteris paribus*, ambos os fatores tendem a deprimir a taxa de crescimento populacional, no longo prazo. Note, nesse sentido, que o aumento de população urbana devido à implantação do PSC seria de 311 mil pessoas ou 18% da população urbana, no EFC, 306 mil pessoas ou 6.2% na AIC e 310 mil pessoas ou 1.9%, na AML.

Os impactos do PSC sobre o PIB são espetaculares. Devido à implantação do PSC haveria aumentos nas taxas médias de crescimento si-

muladas para o período 1985-2010 da ordem de 0.3% a.a., na AML, 1.3% a.a. na AIC e 2.3% a.a. na EFC. Para o valores simulados para PIB, em 2010, a implicação é uma aumento de 6.8%, na AML, 35%, na AIC e 73% na EFC. Em termos per capita, isso significaria aumentos da ordem 70%, 30% e 7%, respectivamente.

É fundamental, contudo, ter em mente que os números se referem ao PIB gerado na região e não à renda apropriada pelos habitantes da região, sobretudo porque se tratam de investimentos com baixa absorção de mão de obra e cujos lucros são, quase totalmente, remetidos para fora da região.

Como seria de se esperar, os impactos do PSC sobre o PIB estão praticamente restrito às atividades urbanas. O impacto do PSC sobre o PIB das atividades agrícolas só seria significativo no caso do EFC, apresenta um aumento de 5.5% do produto agrícola, em 2010, em relação ao Cenário Básico

Em conseqüência, os impactos do PSC, sobre o uso da terra nas atividades agropecuárias, simulados pelo modelo são também relativamente pequenos, exceto talvez pelo corredor da EFC onde, em 2010, haveria um aumento de 84 mil ha, ou 2.5% de acréscimo na área agriculturável ou desmatada no Cenário Básico. Para a AML e a AIC, em relação ao Cenário Básico, os aumentos na área agriculturável, em 2010, seriam 280 e 290 mil ha., respectivamente, ou seja, 0.29% e 0.82%. Assim 10 mil ha. por ano seriam desmatados em conseqüência do PSC.

Esses resultados explicam-se, novamente, pelos fortes processos de urbanização e migração regional desencadeados pelo PSC. Esses processos, por um lado, tendem a reduzir a demanda pro terra agriculturável e, por outro, tendem a concentrá-la geograficamente nas áreas mais próximas do PSC.

Cotejando-se os impactos sobre o PIB com aqueles sobre o desmatamento obtem-se cifras dramáticas. Ou seja, na AML, a implantação do PSC gera, aproximadamente, 10 mil dólares por ha desflorestado, dos quais apenas 17.8 dólares são diretamente provenientes do setor agropecuário.

Para as emissões de CO<sub>2</sub> os impactos do PSC seriam também relativamente pequenos. Para a AML, haveria aumentos de 1.36 milhões de ton/ano, o que representa um aumento de 0.34% daquilo que se observa no Cenário Básico. O PIB gerado por tonelada de CO<sub>2</sub> com a implantação do PSC seria 80 dólares, cifra extremamente alta em termos dos parâmetros internacionais. O valor do PIB agrícola por tonelada de CO<sub>2</sub> seria 0.15%.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida Jr., J.M.G. de. 1986. Carajás: desafio político, ecologia e desenvolvimento. São Paulo: Brasiliense; (Brasília, DF): Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. 633 pp.

Anderson, A.B. "Smokestacks in the rain forests: Industrial Development and Deforestation in the Amazon Basin" *World Development*, vol. 18, n. 9, setembro de 1990, pp. 1191-1205.

Biocarbo. "Estudo de Alternativas Energéticas para o Polo Siderúrgico do Programa Grande Carajás - Componente Siderúrgico - Documento Preliminar - Biocarbo Indústria e Comércio Ltda, Belo Horizonte, 1994.

Bohrer, CBA. 1993. Base de dados municipais sobre o volume de madeira e a biomassa florestal da amazônia legal. Relatório técnico apresentado ao GESEP/IPEA como parte da pesquisa "A Economia do Desflorestamento da Amazônia Brasileira". IPEA/Rio, Memo 8 pp.

Brown, S. & Lugo, AE. 1984. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. *Biotropica*, 14(3): 161-187.

Brown, S & Lugo, AE. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical mist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia*, 17(1): 8-18.

Fearnside, PM. 1992. Forest biomass in Brazilian Amazônia: Comments on the estimate by Brown and Lugo. *Interciencia*, 17 (1): 19-27.

Fearnside, PM; Leal Jr., N & Moreira Fernandes, F. 1993. Rainforest burning and the global carbon budget: biomass, combustion efficiency, and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *Journal of Geophysical Research*, 98 (D9): 16733-16743.

Freitas, A.S. de & Soares, P.R. (orgs.) 1994. Aspectos ambientais de projetos co-financiados pelo Banco Mundial; lições para o futuro. Brasília: IPEA, 1994 (Série IPEA; n. 146).

Hall, A. L. Amazônia: Desenvolvimento Para Quem? Desmatamento e Conflito no Programa Grande Carajás. Jorge Zahar Editor. Rio de Janeiro, 1991.

Houghton, RA; Skole, DL & Lefkowitz, DS. 1991. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985. II. Net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere. *Forest Ecology and Management*, 38: 173-199.

Houghton, RA; Hobbie, JE; Melillo, JM; Moore, B; Peterson, BJ; Shaver, GR & Woodwell, GM. 1983. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: A net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere. *Ecological Monographs*, 53 (3): 235-262.

Reis, E.J. 1994. Os Padrões Geográfico de Incidência dos Efeitos Econômicos e Ambientais do Programa Grande Carajás. Relatório de Pesquisa apresentado ao Banco Mundial e Ministério de Integração Regional. IPEA/RIO, 1994.

CVRD. Seminário sobre desenvolvimento econômico e impacto ambiental em áreas do trópico úmido brasileiro. Belém 1986, A experiência da CVRD. R.J., 1987.

Schroeder, PE & Winjum, JK. 1994. Assessing Brazil's carbon budget: I. Biotic carbon pools. *Forest Ecology and Management*, in press, 25 pp.

## Resumo

O trabalho avalia os efeitos indiretos da implantação do Polo Siderúrgico de Carajás (PSC) – ou seja, a mina, a estrada de ferro e as usinas siderúrgicas, além da hidroelettrica de Tucuruí – sobre o desflorestamento da Amazônia brasileira. Para tanto, utiliza-se um modelo econométrico que quantifica as interações entre os processos de desflorestamento, industrialização e crescimento populacional das áreas urbanas e rurais. O foco nos efeitos indiretos justifica-se pela suposição que os impactos mais importantes resultariam da demanda de terras agriculturáveis induzida pelos processos de urbanização e industrialização da região e não da pressão direta da deman-

da de carvão siderúrgico sobre as florestas nativas, já que essa é, em grande parte, suprida por resíduos de madeira provenientes das atividades madeireiras e agropecuárias.

O modelo simula os efeitos dos investimentos no Polo de Carajás até o ano 2010 comparando-os com um cenário básico onde, supostamente, Carajás não teria sido implantado. Os resultados mostram que Carajás terá impactos econômicos significativos. Em relação ao cenário básico, as taxas de crescimento do PIB, no período 1985-2010, seria significativamente maior, sobretudo no corredor da Estrada de Ferro Carajás (EFC). Como os grandes efeitos de Carajás estão praticamente restrito às atividades urbanas, as simulações de uso da terra nas atividades agropecuárias e desflorestamento são relativamente pequenas, exceto talvez corredor da EFC onde, em 2010, haveria 2.5% de acréscimo na área desmatada em relação ao cenário básico. Para a área de influência de Carajás e para toda a Amazônia Legal os efeitos sobre o desflorestamento seriam negligenciáveis ou negativos. A principal razão subjacente é o aumento do preço da terra em consequência da maior densidade populacional. Para o crescimento populacional, igualmente, os efeitos líquidos serão desprezíveis. Isso porque os aumentos de renda per capita e a migração rural-urbana associadas ao processo deprimem a taxa de crescimento populacional no longo prazo.

### **Abstract**

The paper analyzes the indirect effects of the Iron Cluster of Carajás – including mining, railroad, iron industries, and Tucuruí hydro-electric dam – on Brazilian Amazon deforestation. The analysis are made by a econometric model in order to measure the interaction among deforestation, urban and rural population growth and industrialization. The focus on indirect effects is based upon the assumption that, to a large extent, the effects of Carajás on deforestation are induced by the consequences of industrialization and urbanization on the demand of agricultural land. The direct impacts of charcoal production on native forests are relatively minor, in particular because most of the wood come from deforestation caused by logging and agricultural activities.

The model simulates the effects of the Carajás investment program in the 1985-2010 horizon comparing two scenarios: the basic scenario assumes that the Carajás investment program was not undertaken; the alternative scenario simulates the effects of the investment program. In the alternative scenario, GDP growth rates in the simulation period are significantly higher, in particular in the municipios where Carajás Railroad (CRR) runs. Most of the effects of the Carajás investment program are restricted to urban and industrial activities. Thus simulation of increased demand for land use in agricultural activities, as well as of deforestation, are relatively small, except in (CRR) where, compared to the Basic Scenario, deforested areas are 2,5% higher in 2010. The main reason behind this is the increase in land price induced by increased population density. The “Amazônia Legal” simulation shows negative effects on deforestation. The simulation of population growth also shows negligible effects due to the long run decline of fertility rates induced by the increase in income capital and migration to urban areas.

### **O Autor**

EUSTÁQUIO J. REIS. É Bacharel em Economia pela FACE/UFMG, Belo Horizonte, cursou o Mestrado na EPGE/FGV, Rio de Janeiro, e o doutorado no MIT, Cambridge,

USA. Atualmente é Diretor de Estudos Macroeconômicos do IPEA onde trabalha como pesquisador desde 1975. É Coordenador do Núcleo de Estudos Espaciais Sistêmicos (NEMESIS/PRONEX). Foi editor de Pesquisa e Planejamento Econômico, de 1989 a 1991. De 1975 a 1986 foi professor de Economia Internacional na PUC/RJ.