

*Inventário do ESP das emissões de gases de efeito estufa pelo tratamento de resíduos
(sólidos e efluentes) de 1990 a 2008*

João Wagner Silva Alves

17 de março de 2009



**SECRETARIA DO
MEIO AMBIENTE**



Pesquisa web-delphi em andamento na SMA



Perguntas muito bem elaboradas e pertinentes,
Ambientação adequada,
Ferramenta estimulante para a ampla participação

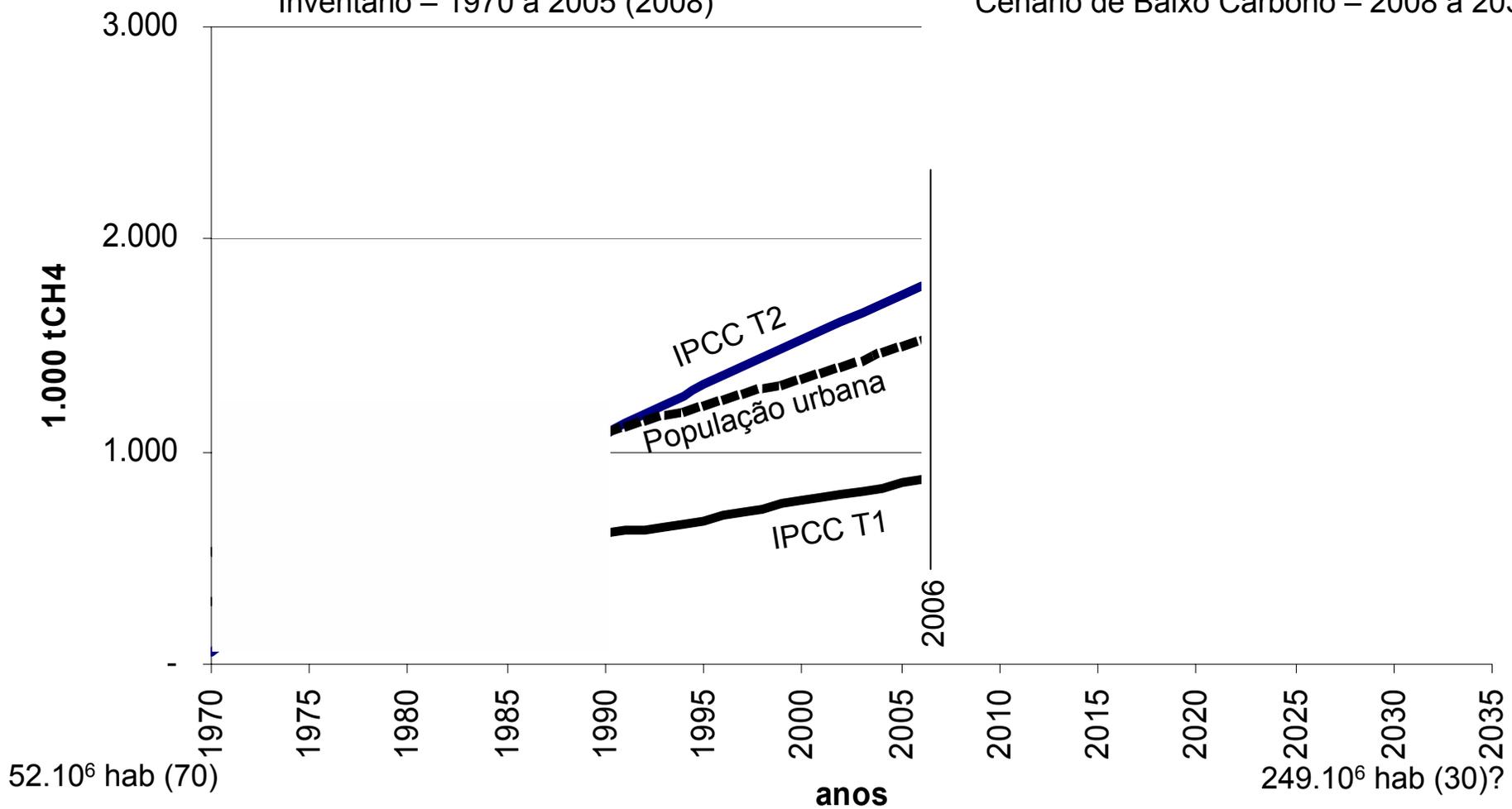
Inventário Estadual das emissões de gee pelo tratamento de resíduos de 1990 a 2008

IPCC - GPG2000 - Tier 1 - $Q = ((MSW_t \cdot MSW_{t_0} \cdot L_0) - R) \cdot (1 - OX)$

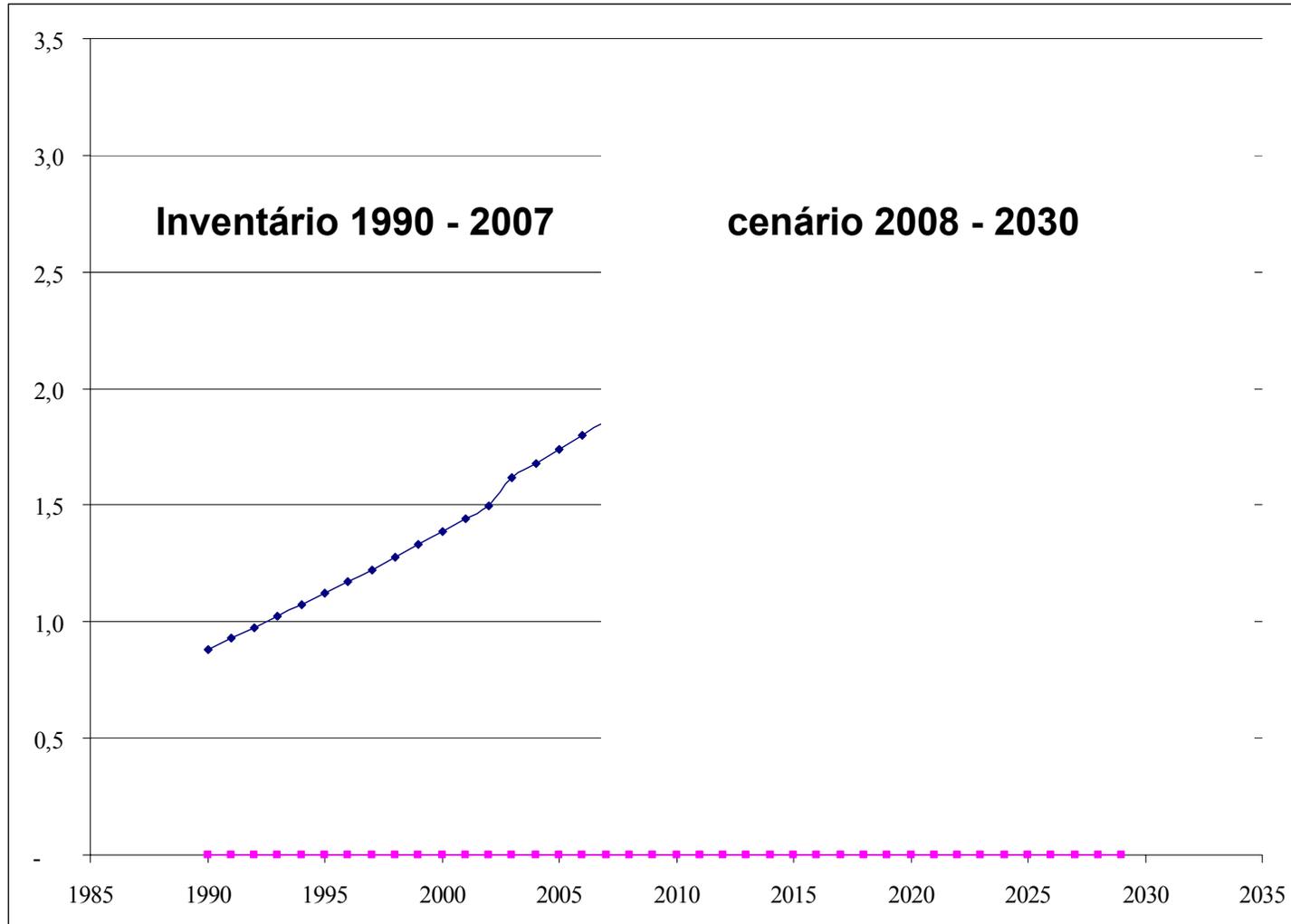
Tier 2 - $Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_{t_0} \cdot L_0 \cdot e^{-k \cdot t} - R) \cdot (1 - OX)$

Inventário – 1970 a 2005 (2008)

Cenário de Baixo Carbono – 2008 a 2030



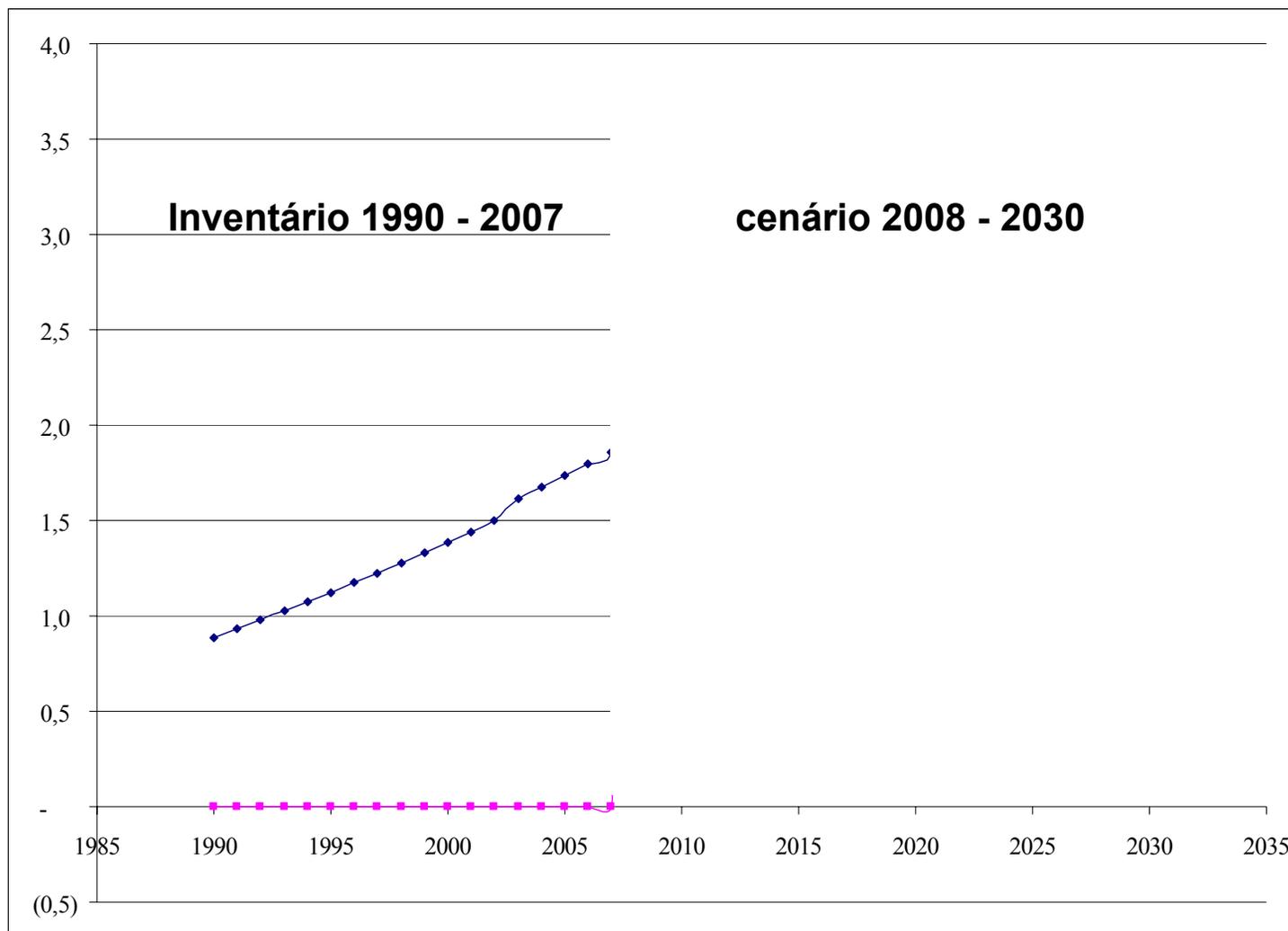
Cenário BAU - 100% dos RSM em aterros



Simulação para uma cidade qualquer

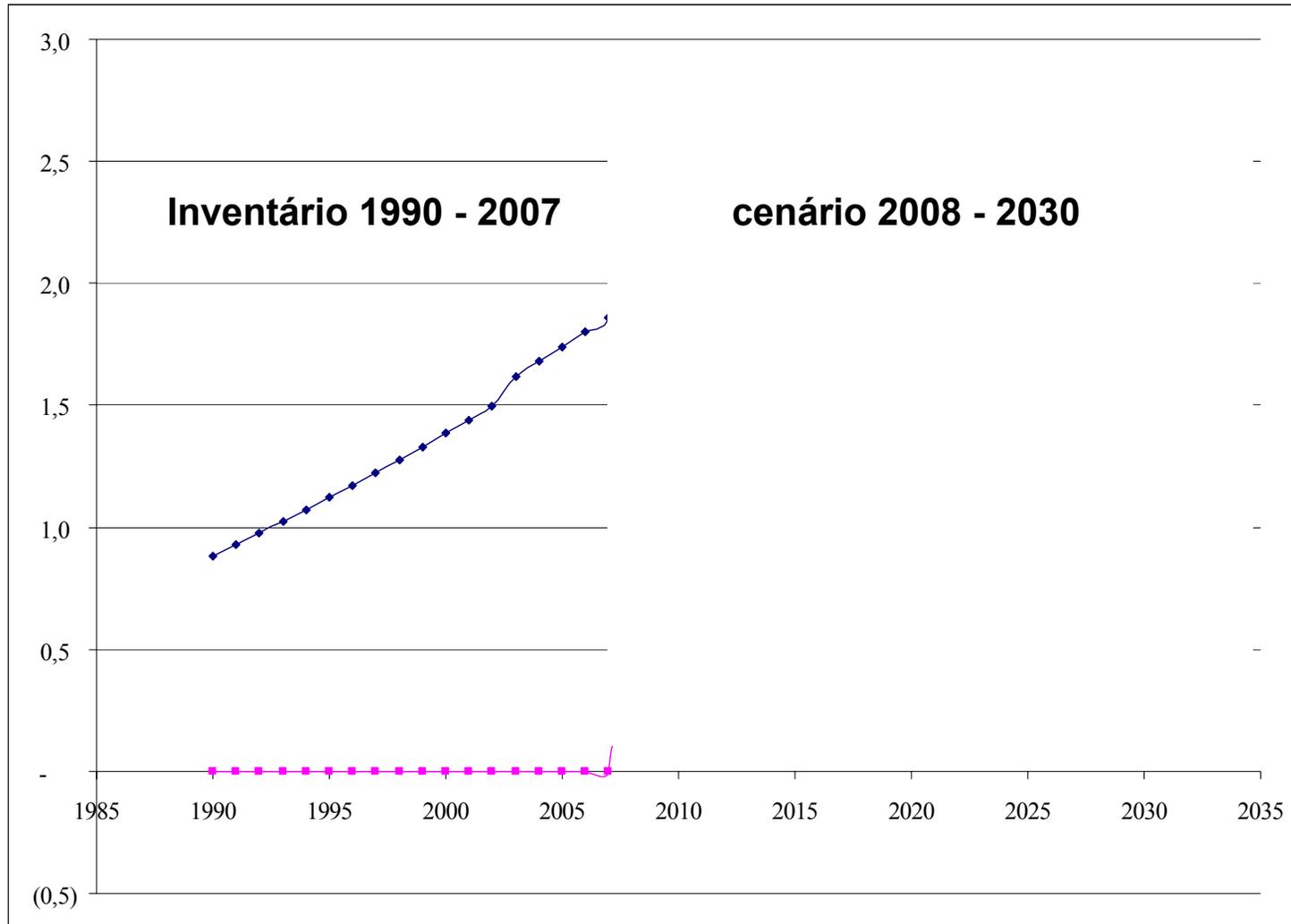
Inventário Estadual das emissões de gee pelo tratamento de resíduos de 1990 a 2008

Cenário BAU - 100% incinerado após 2008 RSM (com % default (IPCC) de fósseis)



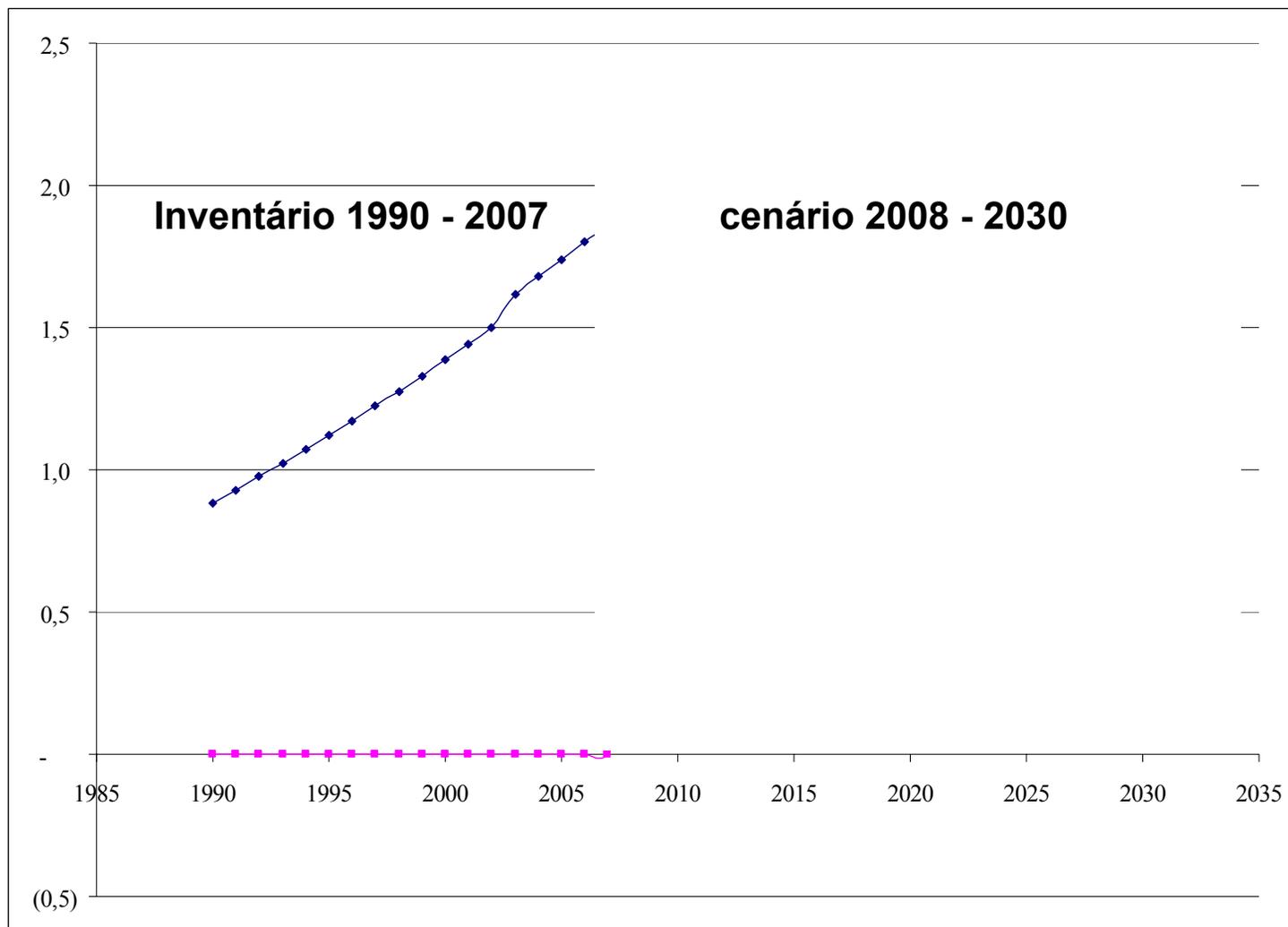
Simulação para uma cidade qualquer

Cenário BAU - 100% incinerado após 2008 RSM (com menor % de fósseis)



Simulação para uma cidade qualquer

Cenário BAU - 100% incinerado após 2008 RSM (com muito menor % de fósseis)



Simulação para uma cidade qualquer

1^{as} conclusões:

Resíduos orgânicos incinerados não geram gee

Resíduos fósseis aterrados não geram gee

Método IPCC (GPG - 2000) para estimativa das emissões de gee em aterros

$$Q_{CH_4} = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f \cdot L_0 \cdot e^{-(k \cdot t)} - R) \cdot (1 - OX)$$

$$Q_{CO_2} = \Sigma(M_i \cdot C_i \cdot FC_i \cdot E_i \cdot 44/12)$$

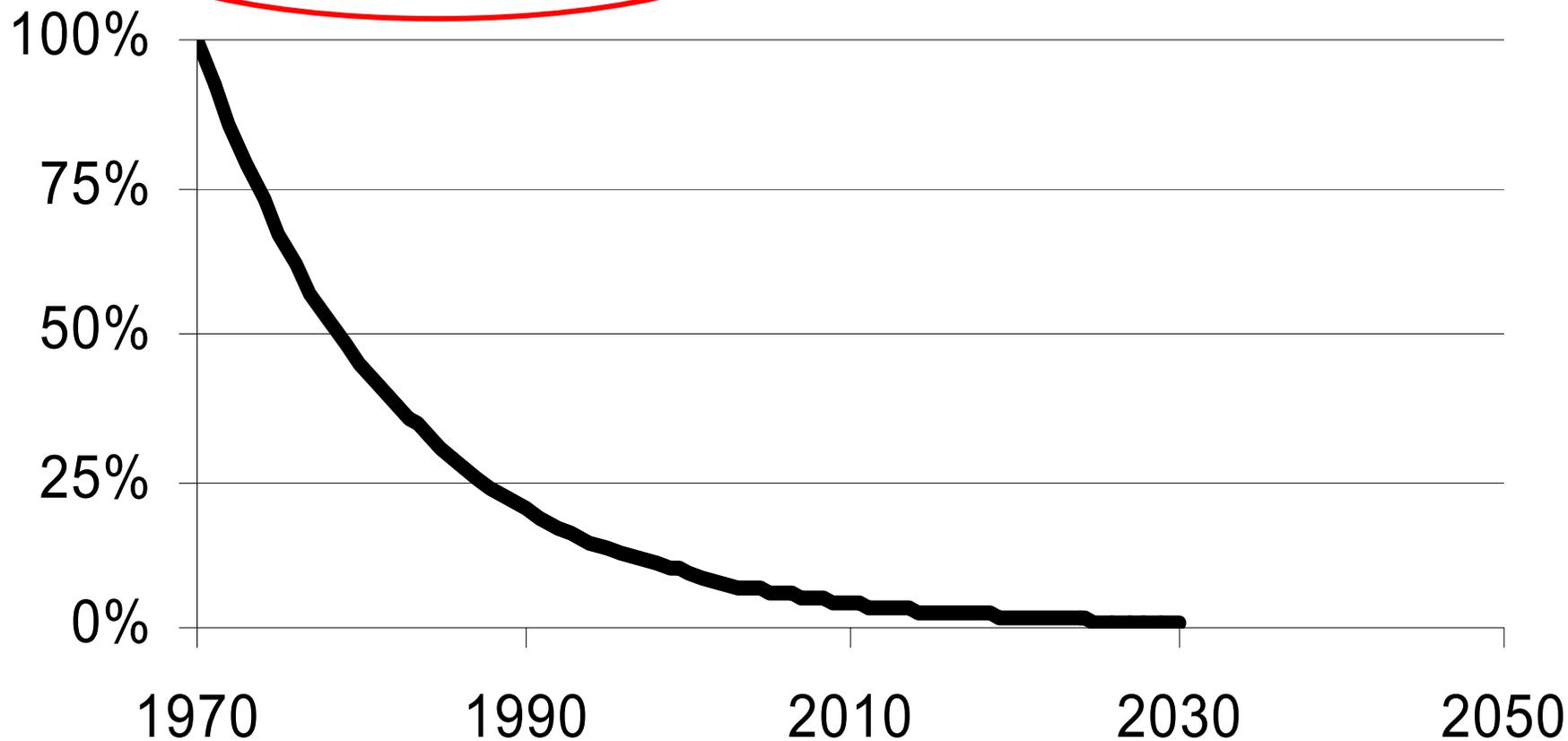
$$Q_{N_2O} = \Sigma_i(IW_i \cdot EC_i \cdot FGV_i) \cdot 10^{-9}$$

$$Q_{CH_4} = Pop \cdot Dd \cdot B_0 \cdot \Sigma(F_{ij} \cdot FCM_{ij}) - R$$

$$Q_{CH_4} = Prod \text{ ind} \cdot Di \cdot \Sigma(F_{ij} \cdot FCM_{ij}) - R$$

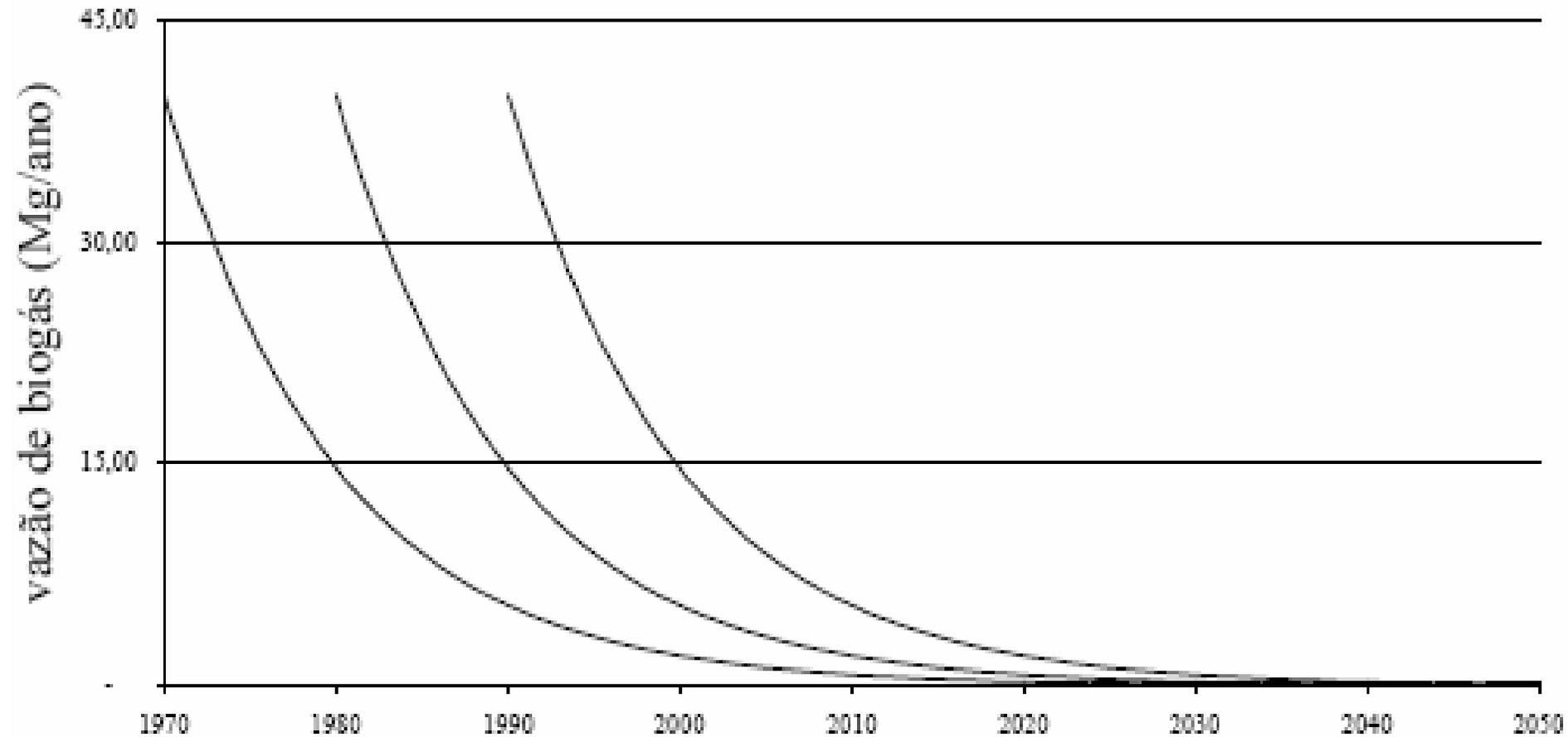
Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f \cdot L_0 \cdot e^{-(k t)} - R) \cdot (1 - OX)$$



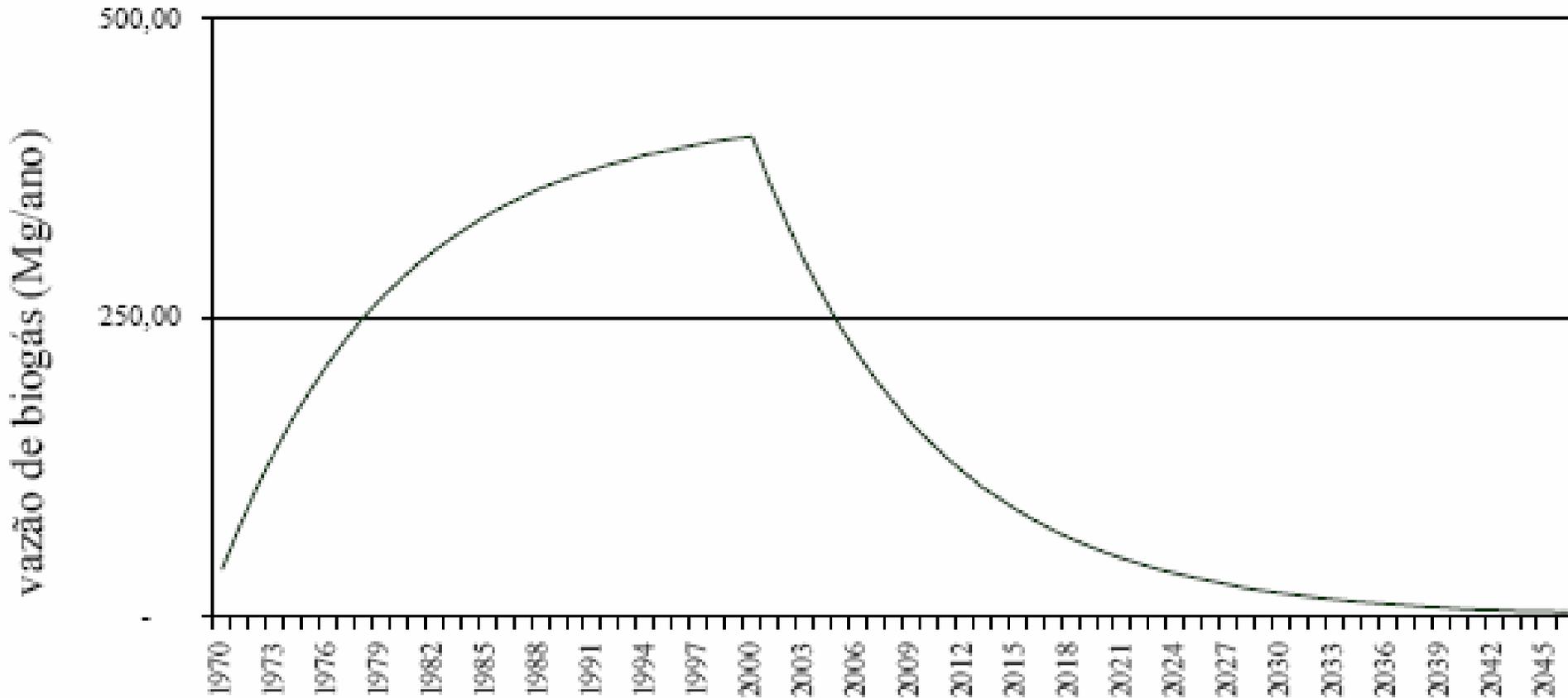
Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f \cdot L_0 \cdot e^{-(k \cdot t)} - R) \cdot (1 - OX)$$



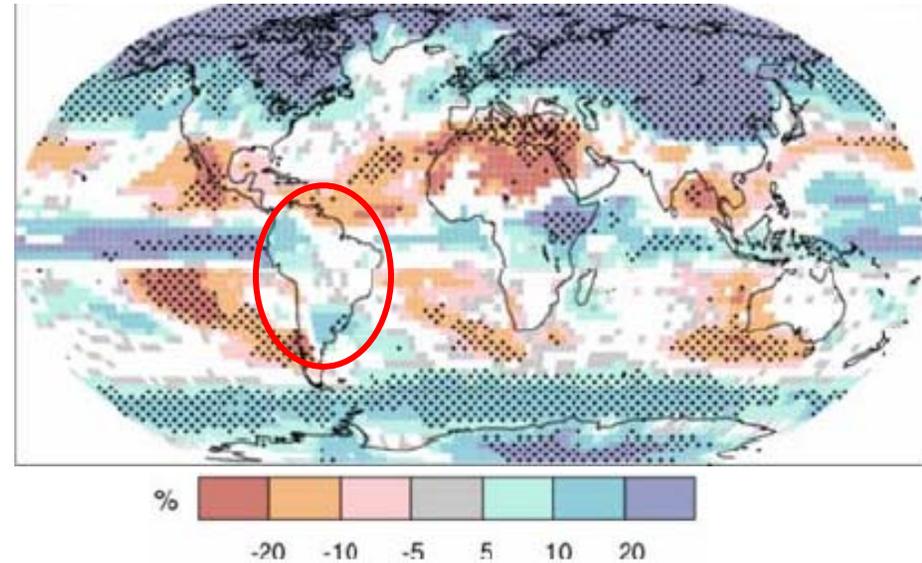
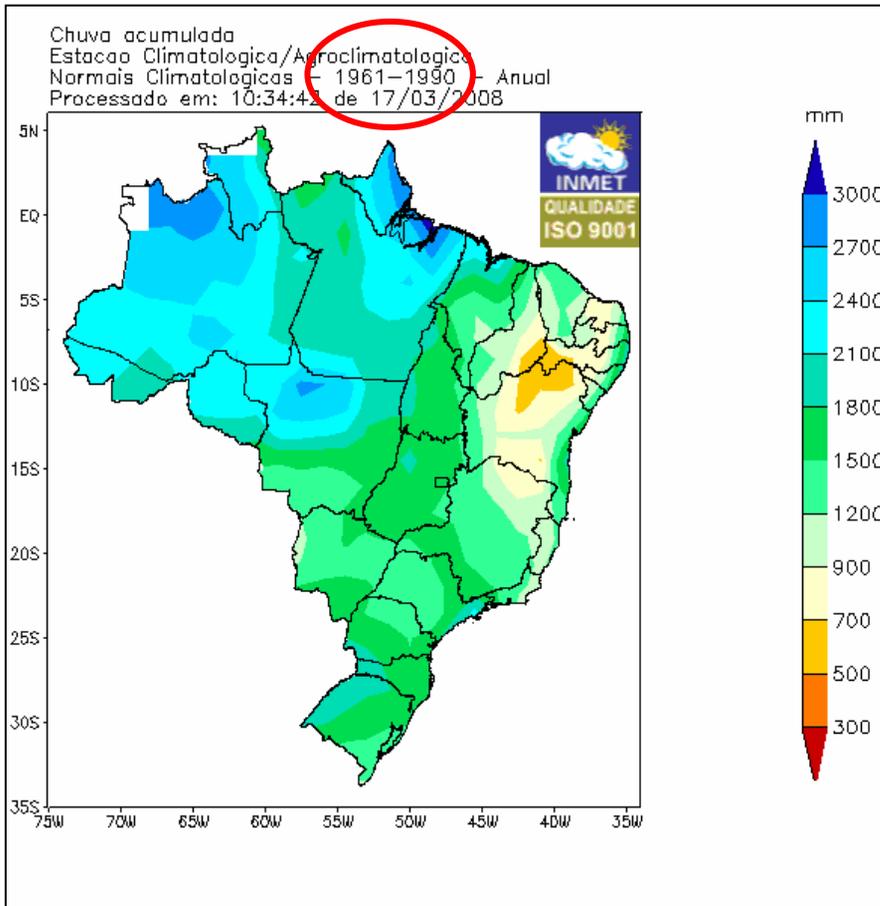
Aterros

$$\Sigma Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f \cdot L_0 \cdot e^{-(k \cdot t)} - R) \cdot (1 - OX)$$



Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f \cdot L_0 \cdot e^{-(k t)} - R) \cdot (1 - OX)$$



Projeção da variação dos padrões de variação
de precipitação para o período de 1980 a 2090
(1991 a 2020)

2090 a 2005 = ?

Vamos continuar procurando dado melhor

Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f \cdot L_0 \cdot e^{-(k t)} - R) \cdot (1-OX)$$

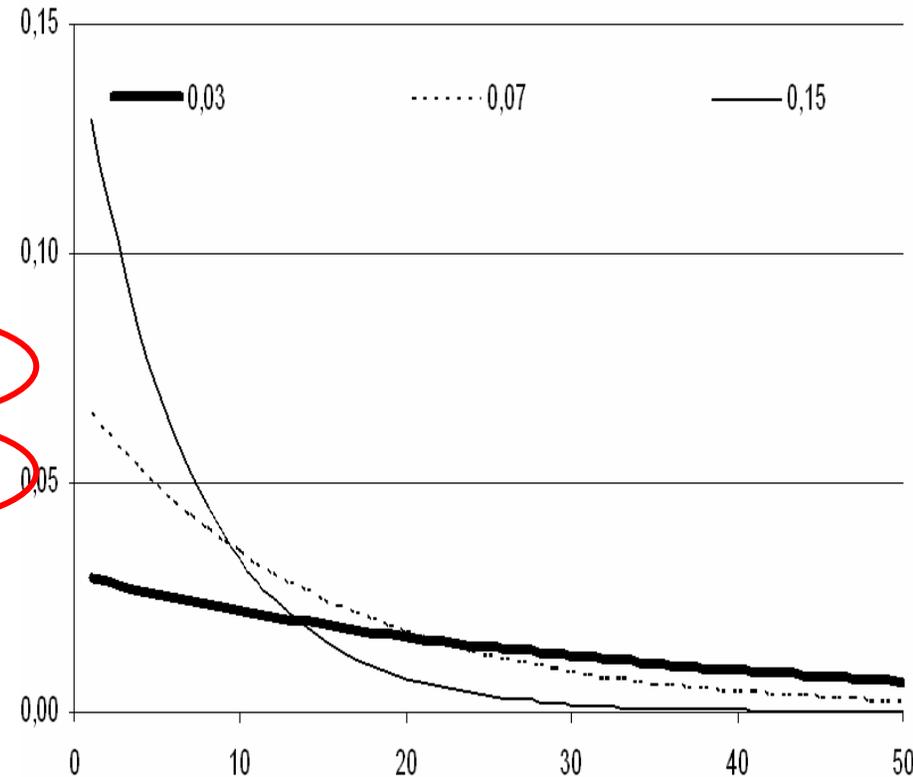
k : taxa de decaimento [adimensional]

(regime de chuvas)

MAP: precipitação média de chuvas

MAP > 1000 mm_{chuva}/ano => $k = 0,17$

MAP < 1000 mm_{chuva}/ano => $k = 0,065$



Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f \cdot L_0 \cdot e^{-(k t)} - R) \cdot (1 - OX)$$

A: Fator de normalização de soma [%]

$$A = \frac{1 - e^{-k}}{k}$$

k: taxa de decaimento [adimensional]

(regime de chuvas)

Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f) \cdot L_0 \cdot e^{-(k t)} - R) \cdot (1 - OX)$$

R_x = Taxa anual de disposição média dos resíduos [GgMSW/ano]

MSW: Resíduos sólidos urbanos

$$MSW_t \cdot MSW_f = R_x = Taxa_{MSW} \cdot Pop_{urb}$$

MSW_t = Quantidade total de MSW gerado [GgMSW/ano]

MSW_f = Fração de resíduo destinada ao aterro [%]

R_x = Quantidade de resíduo aterrada [GgMSW/ano]

$Taxa_{RSM}$ = Taxa de ger. de res. por hab. [kgMSW/hab.dia] ou GgMSW/10³hab.ano]

Pop_{urb} = População urbana [hab] ou [1000hab]

Aterros

Estimativa populacional (decenal)

$$Pop_b = Pop_a \cdot (1 + i)^{(b-a)}$$

Pop_a = População urbana municipal no ano inicial

i = Índice de crescimento populacional do período

$$i = \left(\frac{Pop_b}{Pop_a} \right)^{1/(b-a)} - 1$$

a = Ano inicial da década

b = Ano

Dados populacionais dos municípios brasileiros (IBGE no MUNINET, 2008)

Dados: 1970, 1980, 1991 e 2000 (os demais anos são estimados).

Aterros

TaxaMSW = Taxa de geração de resíduos [kgRSM/hab.dia] ou GgRSM/103hab.ano]

TaxaMSW (CETESB, não datado)

Para 1970

Pop_{urb} > 1.000.000 hab → 0,7kg/hab.dia

1.000.000 > Pop_{urb} > 500.000 hab → 0,6kg/hab.dia

500.000 > Pop_{urb} > 100.000 hab → 0,5kg/hab.dia

Pop_{urb} < 100.000 hab → 0,4kg/hab.dia

Aterros

TaxaMSW nas regiões brasileiras (ABRELPE, 2007):

Norte:	$TaxaMSW = 0,000433.Pop_{urb} + 0,5064$ [kgMSW/hab]	$R^2 = 86\%$
Nordeste:	$TaxaMSW = 0,000254.Pop_{urb} + 0,7054$ [kgMSW/hab]	$R^2 = 79\%$
Centro-Oeste:	$TaxaMSW = 0,000384.Pop_{urb} + 0,6136$ [kgMSW/hab]	$R^2 = 85\%$
Sudeste:	$TaxaMSW = 0,000216.Pop_{urb} + 0,5864$ [kgMSW/hab]	$R^2 = 66\%$
Sul:	$TaxaMSW = 0,000357.Pop_{urb} + 0,5015$ [kgMSW/hab]	$R^2 = 73\%$

Aterros

Regressão do MSW anual (70 a 2005):

Supondo que em 70 vale CETESB e que em 2005 vale ABRELPE:

$$MSW_x = MSW_{1970} + (MSW_{2005} - MSW_{1970}) \cdot \frac{(x - 1970)}{(2005 - 1970)}$$

Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f \cdot L_0 \cdot e^{-(k t)} - R) \cdot (1 - OX)$$

L_0 : Fator de emissão de metano [GgCH₄/GgMSW]

$$L_0 = MCF \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot F \cdot 16/12 \text{ [GgCH}_4\text{/GgMSW]}$$

MCF: Fator de correção de metano referente aos locais de disposição [ad]

Qualidade de operação do aterro:

Aterro sanitário $\Rightarrow MCF = 1$

Aterro com mais de 5m de profundidade $\Rightarrow MCF = 0,8$

Aterro com menos de 5m de profundidade $\Rightarrow MCF = 0,4$

Aterro com classificação desconhecida $\Rightarrow MCF = 0,6$

Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f \cdot L_0 \cdot e^{-(k t)} - R) \cdot (1 - OX)$$

L_0 : Fator de emissão de metano [GgCH₄/GgMSW]

$$L_0 = MCF \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot F \cdot 16/12 \text{ [GgCH}_4\text{/GgMSW]}$$

$$DOC = (0,4 \cdot A) + (0,17 \cdot B) + (0,15 \cdot C) + (0,3 \cdot D) \text{ [GgC/GgMSW]}$$

A: Papéis e têxteis

B: Resíduos de jardim, parque e outros putrecíveis não comida

C: Resíduos de comida

D: Madeira e palha

Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f \cdot L_0 \cdot e^{-(k t) - R}) \cdot (1 - OX)$$

L_0 : Fator de emissão de metano [GgCH₄/GgMSW]

$$L_0 = MCF \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot F \cdot 16/12 \text{ [GgCH}_4\text{/GgMSW]}$$

DOC_f = Fração assimilada do DOC (DOC_f) [adimensional]

$$DOC_f = 0.014T + 0.28 = 0,014 \cdot 35^\circ C + 0,28 = 0,77$$

Onde:

$$T = \text{Temperatura } [^\circ C] = 35 \text{ }^\circ C$$

Qualquer mudança nesta estimativa deve ser baseada em dados bem documentados.

Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f \cdot L_0 \cdot e^{-(k t)} - R) \cdot (1 - OX)$$

L_0 : Fator de emissão de metano [GgCH₄/GgMSW]

$$L_0 = MCF \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot F \cdot 16/12 \text{ [GgCH}_4\text{/GgMSW]}$$

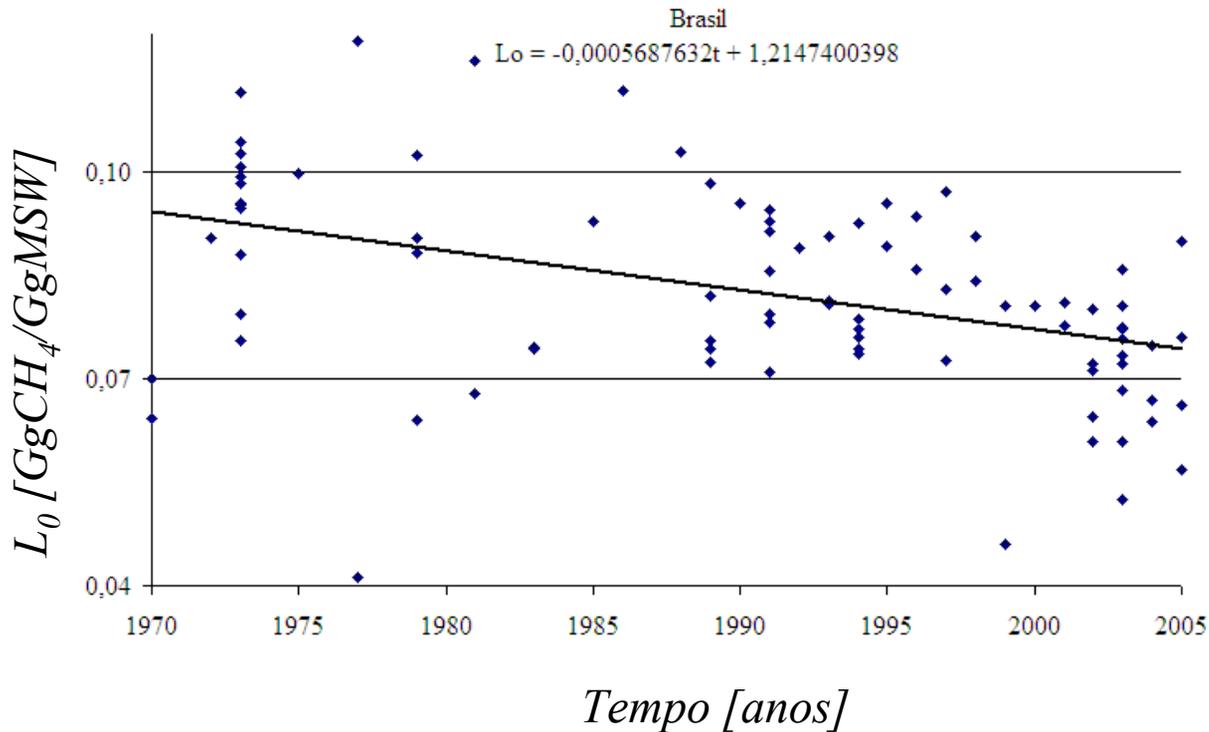
F : Fração de CH₄ no biogás [adimensional]

16/12: Relação de massa entre C e CH₄

Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSWf \cdot L_0 \cdot e^{-(k t)} - R) \cdot (1-OX)$$

Estimativa de L_0 : (Brasil) [GgCH₄/GgMSW]



Aterros

$$Q = (k \cdot A \cdot MSW_t \cdot MSW_f \cdot L_0 \cdot MCF \cdot e^{-k \cdot t} - R) \cdot (1 - OX)$$

R: Metano recuperado [GgCH₄/ano]

OX: Fator de oxidação [%]

Aterros

$$Q_{CO_2} = \Sigma(M_i \cdot C_i \cdot FC_i \cdot E_i \cdot 44/12)$$

Q_{CO_2} : Quantidade de Dióxido de Carbono gerada ao ano [GgCO₂/ano]

i :	MSW	=	<i>Resíduo Sólido Municipal</i>
	RP	=	<i>Resíduo Perigoso</i>
	RH	=	<i>Resíduo Hospitalar</i>
	LE	=	<i>Lodo de Esgoto</i>

Aterros

$$Q_{CO_2} = \Sigma(M_i \cdot C_i \cdot FC_i \cdot E_i \cdot 44/12)$$

Q_{CO_2} = Quantidade de Dióxido de Carbono gerada ao ano [GgCO₂/ano]

$M_i(IW)$ = Massa de resíduo i incinerado ao ano [Gg_{resíduo}/ano]

$C_i(CCW)$ = Carbono contido no resíduo i [%]

$FC_i(FCF)$ = Fração de carbono fóssil no resíduo i [%]

$E_i(EF)$ = Eficiência de queima dos incineradores do resíduo i [%]

44/12 = Fator de conversão de C para CO₂ (relação de massa entre C e CO₂.)

Aterros

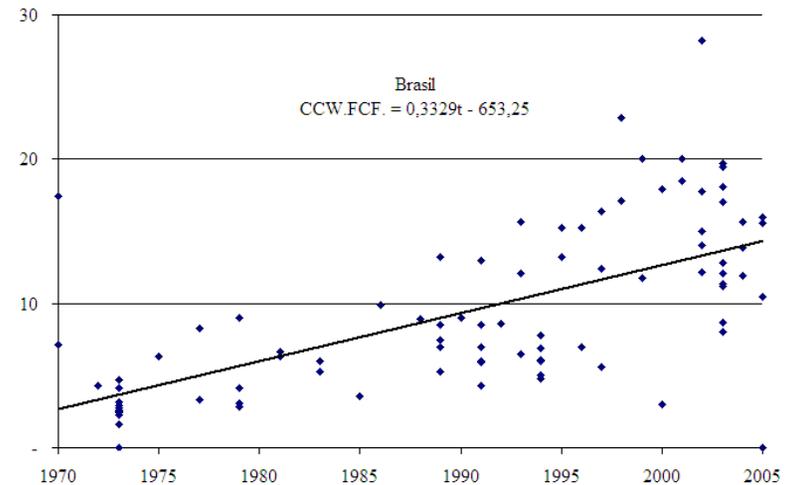
$$Q_{N_2O} = \sum_i (IW_i \cdot EC_i \cdot FGV_i) \cdot 10^{-9}$$

Q_{N_2O} = Quantidade de Óxido Nitroso gerada ao ano
[GgN₂O/ano]

IW_i = Quantidade de resíduo i incinerado [Gg/ano]

EC_i = Concentração de N₂O no gás, por resíduo i [mgN₂O/m³]

FGV_i = Volume de gás proveniente do resíduo i incinerado
[m³/Mg]



Esgotos e Efluentes

$$Q_{CH_4} = Pop \cdot Dd \cdot B_0 \cdot \Sigma(F_{ij} \cdot FCM_{ij}) - R$$

Q_{CH_4} = Quantidade de metano gerada ao ano [GgCH /ano]

Pop = População urbana [1.000 hab]

Dd = Componente orgânico degradável do esgoto doméstico
[kgDBO/1.000hab.dia]

B_0 = Capacidade máxima de produção de metano
[kgCH /kgDBO ou kgCH₄ /kgDQO]

F = Fração de água residuária do tipo “i” tratada usando o sistema “j”

FCM = Fator de conversão de metano do sistema “j” tratando o efluente “i”

R = Metano recuperado

Esgotos e Efluentes

$$Q_{CH_4} = Prod\ ind . D_i . \Sigma(F_{ij} . FCM_{ij}) - R$$

Q = Quantidade de metano gerada ao ano [GgCH₄/ano]

$Prod\ ind$ = Produção industrial [t de produto]

D_i = Componente orgânico degradável do efluente industrial
[kgDBO/t produto ou kgDQO/t produto]

B_0 = Capacidade máxima de produção de metano
[kgCH /kgDBO ou kgCH₄/kgDQO]

$F_{i,j}$ = Fração de água residuária do tipo “i” tratada usando o sistema “j”

$FCM_{i,j}$ = Fator de conversão de metano do sistema “j” tratando o efluente “i”

R = Metano recuperado

Produção industrial (5 setores):

Cervejarias

Bebidas e refrigerantes

Laticínios...

Contato:

João Wagner Silva Alves

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

Divisão de Questões Globais

Programa do Governo do Estado de Prevenção às Mudanças Climáticas

Tel. 55 11 3133 3156

Fax. 55 11 3133 4058

<http://homologa.ambiente.sp.gov.br/proclima/default.asp>

e-mail: joaoa@cetesbnet.sp.gov.br



**SECRETARIA DO
MEIO AMBIENTE**

