

Universidade Estadual de Campinas
Instituto de Matemática, Estatística e Computação
Científica

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DINÂMICO
PARA ESTIMAR EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES
DE EFEITO ESTUFA EM UM SISTEMA DE PRODUÇÃO
DE BOVINO DE CORTE**

MS777- Projeto Supervisionado I
Autor: Gustavo Gianotto Bratfisch – RA: 136015
Orientador: Dr. Luís Gustavo Barioni
Supervisor: Prof. Dr. Laércio Luís Vendite

Campinas-SP
Junho de 2016

RESUMO

O Brasil é o segundo maior produtor de carne bovina do mundo e o maior exportador mundial. As emissões de metano (CH_4) e de óxido nítrico (N_2O) provenientes da bovinocultura e a remoção de CO_2 pelas pastagens compõem parcela significativa do balanço de gases de efeito estufa (GEE) nos inventários nacionais. As técnicas atuais de quantificação dos fluxos de gases de efeito estufa permitem medidas em abrangência espaço-temporal limitada. Dessa forma, modelos matemáticos são necessários para a quantificação em nível nacional e para estimação do impacto de intervenções sobre o sistema. Nesse contexto, o objetivo desse projeto foi o de desenvolver um modelo que permita estimar a emissão desses gases, a partir da dinâmica de crescimento e reprodução de rebanhos bovinos.

Palavra-chave: Gases De Efeito Estufa, Metano, Óxido Nítrico

Introdução:

Evidências cada vez mais conclusivas sobre as mudanças climáticas e seus efeitos têm gerado reações de intensidade crescente da comunidade científica, da sociedade e dos governantes (SOUSSANA et al., 2013). Projeções indicam que, ao fim do século 21, a biosfera experimentará elevações de temperatura entre 1,5 e 4 °C comparadas com o período de 1980 e 1999 e concentrações de CO₂ na faixa de 550 a 900 ppm (IPCC, 2007).

O Brasil possui o maior rebanho comercial do mundo, com aproximadamente 200 milhões de animais (sendo 85% dos animais com finalidade de produção de carne) (IBGE, 2010). Ademais, a produção de carne é, em valor, o maior segmento da agropecuária brasileira, representando aproximadamente US\$ 33,5 bilhões em 2012 (CNA, 2012). Entretanto, no contexto agropecuário das mudanças climáticas, a bovinocultura tem recebido grande destaque, tanto por lhe ser imputada considerável parcela da responsabilidade pelas emissões antrópicas de gases de efeito estufa, quanto por ter grande potencial de mitigação (BARIONI et al., 2011).

No âmbito global, de acordo com Martin et al. (2010), 37% das emissões antropogênicas de metano estão associadas com a pecuária, a maior parte devido às emissões entéricas por ruminantes. Além disso, estima-se que a pecuária seja responsável por 65% das emissões antrópicas globais de óxido nitroso e 9% das emissões de CO₂ (FAO, 2006), sendo a maior parte das emissões de CO₂ estimadas pela FAO associadas ao desmatamento.

Por outro lado, pastagens têm grande potencial para remover CO₂ atmosférico por meio do aumento dos estoques no solo. O potencial global de sequestro de carbono no solo sob pastagens é estimado como até 0,3 Gt C por ano em 3,7 bilhões de ha de pastagens permanentes em todo o mundo (LAL, 2004), podendo representar um dos maiores sumidouros terrestres de carbono (NEELY et al., 2009). É possível, portanto, compensar parte das emissões do setor no nível mundial ou mesmo o total de emissões de sistemas produtivos isolados por períodos expressivos de tempo.

Em face ao contexto acima exposto, houve ação proativa do governo brasileiro, por meio do estabelecimento de compromisso voluntário nacional por meio do art. 12° da Lei n° 12.187/2009. Alinhado a esse compromisso, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) instituiu, em 2010, o Programa Agricultura de Baixo Carbono (Programa ABC, <http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plano-abc>), com o objetivo de financiar a produção de alimentos e bioenergia com redução de GEE. Dentre as metas do plano ABC destacam-se a recuperação de pastagens degradadas diretamente (15 milhões de hectares) ou por meio de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (4 milhões de hectares). As ações do Programa ABC estão inseridas nos Plano Agrícola e Pecuário 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013, prevendo investimentos totais na ordem de R\$ 3 bilhões em 2013. Com essas medidas espera-se reduzir as emissões líquidas em 101 a 126 milhões de t de CO₂-eq, i.e. aproximadamente 61 a 73% de toda a redução por mudanças nas práticas agrícolas em 2020.

Recentemente, o Banco Mundial elaborou um estudo conclui que o potencial de mitigação das emissões do Brasil está fortemente associado às mudanças de uso da terra e mudanças tecnológicas na agricultura, com destaque para redução do desmatamento e tecnificação da bovinocultura (WORLD BANK, 2011). Para isso há enorme desafio para a pecuária nacional de forma conciliação entre o atendimento da demanda para produção de carne bovina com impactos ambientais controlados. Esse desafio resulta na necessidade de quantificação e

redução de suas emissões a partir da identificação de ações de mitigação em um contexto que permita ao produtor rural garantir sua competitividade e renda.

As técnicas atuais de quantificação dos fluxos de GEEs permitem medidas em abrangência espaço temporal muito limitada. Dessa forma, a quantificação das emissões em escala regional, nacional e global depende do desenvolvimento de modelos matemáticos apropriados. Tais modelos também fundamentam o estudo dos impactos de intervenções sobre o sistema produtivo e a formulação de políticas públicas. O IPCC (Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas) recomenda o uso de modelos nos quais as categorias de animais sejam discriminadas e caracterizadas e as emissões quantificadas para cada uma delas (IPCC, 1996).

Nesse contexto, o objetivo desse projeto foi o de desenvolver um modelo que permita estimar a emissão desses gases, a partir da dinâmica de crescimento e reprodução de rebanhos bovinos, e de dados sobre seu manejo e sua dieta.

Metodologia

Para a implementação do modelo foi utilizado o software R, segue em anexo o código fonte. Foi dividido em 2 partes o nosso programa, na primeira representamos a dinâmica populacional e na segunda parte o crescimento dos animais e o cálculo das emissões de gases de efeito estufa (GEE), i.e. metano e óxido nitroso, para atmosfera.

Dinâmica populacional

Para a representação da dinâmica de crescimento e reprodução, foi utilizado a abordagem de modelagem baseada em cohorts (grupo de contemporâneos). A modelagem Cohort é baseada na representação do estado de grupos de indivíduos com as mesmas características e sujeitos às mesmas condições por um período de tempo definido. O modelo foi implementado em dois módulos: o primeiro implementa a dinâmica de crescimento entre o nascimento e a maturação sexual (fêmeas) e até o abate (machos); o segundo representa a reprodução e o descarte de fêmeas. Na dinâmica de crescimento, cada cohort representa um grupo de bovinos de mesmo sexo nascido no mesmo mês. Na reprodução, o cohort representa animais em mesma fase do ciclo reprodutivo (e.g. mês de gestação).

As fêmeas em reprodução são inicialmente alocadas a um compartimento designado “fêmeas aptas à reprodução”. As fêmeas aptas concebem a uma taxa α , definida pelo usuário. Após a concepção, as fêmeas iniciam a gestação, passando por 9 cohorts (bovinos tem período de gestação de aproximadamente 9 meses). Finalizada a gestação, as matrizes (reprodutoras) produzem bezerros e passam por um período de inaptidão para nova concepção (3 meses). Os bezerros, machos e fêmeas em igual proporção, são alocados para o primeiro cohort do ciclo de crescimento do sexo respectivo. Sendo assim caindo em um sistema de equações diferenciais dada por essa forma (1):

$$\frac{dN_i}{dt} = b + (1 - m) * N_{i-1} - N_i + I - E. \quad (1)$$

Onde:

N_i é a população no Cohort i

b é o número de nascimento

m é a taxa de mortalidade

I e E são a importação e a exportação do gado

O sistema de equações diferenciais foi resolvido numericamente utilizando a livreria “deSolve”, do software R. O programa requer como inputs o vetor da população inicial do rebanho, a taxa de mortalidade e os vetores de compras e vendas do boi ao longo do tempo.

Crescimento dos animais e emissões de GEE

A estimativa das emissões de GEE demanda que seja conhecido o peso do animal. Para tanto, é preciso determinar o ganho médio diário o qual depende da época do ano. Assim, é essencial que se defina, como input, quais são os meses de seca e chuvosos e as respectivas taxas de ganho de peso nesses períodos (Equação 2).

$$GanhoPeso = \frac{MesesAgua * TaxaAgua}{TotaldeMeses} + \frac{MesesSecas * TaxaSecas}{TotaldeMeses} \quad (2)$$

Dessa forma para o cálculo do peso final, é crucial que se passe o peso inicial do bezerro, resultando nessa equação:

$$PesoFinal = PesoAnterior + GanhaPeso * diasnomês \quad (3)$$

Vale lembrar que o peso final é calculado no tempo desejado.

O modelo foi desenvolvido para estimar a produção dos principais gases de efeito estufa, sendo assim o metano (CH₄) e o óxido nítrico (N₂O) por bovinos de corte. Temos que o N₂O é originário da nitrificação e desnitrificação do N na urina e do N das fezes enquanto que o CH₄ da fermentação ruminal.

Dessa forma para o cálculo do CH₄, é necessário determinar a eficiência de uso da energia digestível para manutenção (REM, adimensional) e ganho de peso (REG, adimensional), conforme as equações (4) e (5).

$$REM = [1,123 - (0,4092 * Porc_ED) + 1,126 * 0,1 * Porc_ED^2 - (\frac{0,254}{Porc_ED})] \quad (4)$$

$$REG = [1,164 - (0,516 * Porc_ED) + 1,308 * 0,1 * Porc_ED^2 - (\frac{0,374}{Porc_ED})] \quad (5)$$

Onde:

PorcED é a Energia Digestível (é a fração em que os animais transformam alimentos em energia)

Com isso pode ser calculado a exigência de ingestão de energia bruta (*GE*, MJ dia⁻¹):

$$GE = \frac{\left(\frac{NE_m + NE_a + NE_l + NE_{work} + NE_p}{REM} \right) + \left(\frac{NE_g}{REG} \right)}{PorcED} \quad (6)$$

Onde:

NE_m (MJ dia⁻¹) é a energia líquida exigida para a sustentação

NE_a (MJ dia⁻¹) é energia líquida exigida para obter seu alimento, água e proteção

NE_l (MJ dia⁻¹) é a energia líquida exigida para a lactação (para fêmea apenas)

NE_g (MJ dia⁻¹) é a energia líquida exigida para o crescimento

NE_{work} (MJ dia⁻¹) é a energia líquida exigida para atividade (trabalho)

NE_p (MJ dia⁻¹) é a energia líquida exigida para gravidez

Com isso podemos calcular a emissão de metano (EM , $kg CH_4/cab/ano$)

$$EM = \frac{GE * YM * 365}{Energia_Metano} \quad (7)$$

Onde:

YM é a porcentagem de energia bruta convertida em metano

$Energia_Metano$ é o conteúdo energético do metano ($55 MJ.kg^{-1}$)

Agora para o cálculo do óxido de nitroso são necessários fazer o cálculo da excreção de N na urina e nas fezes, mas para isso teremos que achar alguns resultados:

$$IMS = GE/EB_{Alimento} \quad (8)$$

$$Ingestão_N = IMS * PB * N_{PB} \quad (9)$$

Onde:

$IMS(kg MS/dia)$ é a ingestão de matéria seca

$EB_{Alimento}$ é a energia bruta do alimento

$Ingestão_N (kg/dia)$ é a quantidade de nitrogênio por dia

PB é a proteína bruta que tem no alimento

N_{PB} é a quantidade de nitrogênio que tem no alimento

Com isso podemos fazer os cálculos das excreções de N na urina e nas fezes, dada por:

$$Excreção_{N_{Fezes}} = Ingestão_N * 0,7 * (1 - Dig_{PB}) + 0,0038 * (Peso^{0.75}) * N_{PB} \quad (10)$$

$$Excreção_{N_{Urina}} = Ingestão_N * 0.3 \quad (11)$$

Onde:

Dig_{PB} é digestibilidade da proteína bruta, que representa a capacidade do animal em utilizar seus nutrientes

$Peso (kg)$ é o peso do animal

Dessa forma para o cálculo da emissão de N_2O ($kg N_2O/cab/ano$) fica:

$$Emissão_{N_2O} = (Excreção_{N_{Fezes}} * Porc_{Fezes} + Excreção_{N_{Urina}} * Porc_{Urina}) * 365 * N_{2O_N}$$

Resultados e discussão

Podemos perceber que a emissão de óxido nitroso está relacionado diretamente com o peso e com o consumo de alimentos pelo animal, da mesma forma o metano. Vamos

mostrar um exemplo para obtermos resultados numéricos de um sistema de produção:

Definiremos nossa população inicial sendo igual para todo Cohort, sendo assim vamos colocar 100 cabeças de gado para cada mês, com uma taxa de mortalidade de 0,01 e colocando constante a compra e a venda dos bois, desse jeito depois de 2 anos ficamos com uma população desse jeito:

Time	24	Calf8	120,929	Growing8	80,163	Preg8	128,336
Calf1	119,030	Growing1	121,955	Preg1	136,887	Preg9	124,977
Calf2	102,123	Growing2	121,459	Preg2	135,918	Open1	100,000
Calf3	121,448	Growing3	120,200	Preg3	134,952	Open2	99,000
Calf4	121,431	Growing4	117,004	Preg4	133,978	Open3	98,010
Calf5	121,389	Growing5	110,150	Preg5	132,968	Repro	227,473
Calf6	121,280	Growing6	92,751	Preg6	131,854		
Calf7	121,005	Growing7	48,584	Preg7	130,459		

Tabela 1

Podemos observar os ciclos em que o bezerro passa, até chegar a sua maturação sexual, esse ciclo no caso da vaca funciona assim:

Calf ---> Growing --> Rep -->Preg--> Open --> Rep

Dessa forma, depois de calculado a dinâmica da população, vamos calcular o peso para cada Cohort. Sendo colocado a taxa de seca e chuva, respectivamente 0,2 e 0,4 kg.dia⁻¹ e o peso inicial de nascimento de 30kg e foi deixado constate o peso depois do Cohort 16 para a facilidade dos calculos, com isso foi gerado a Tabela 2:

Cohort	Ganho Médio	Peso	Cohort	Ganho Médio	Peso
1	0,361	30,000	9	0,375	118,802
2	0,359	40,964	10	0,374	130,202
3	0,359	51,898	11	0,373	141,571
4	0,357	62,791	12	0,372	152,907
5	0,360	73,779	13	0,371	164,210
6	0,364	84,867	14	0,370	175,482
7	0,367	96,063	15	0,369	186,728
8	0,371	107,372	16	0,369	197,967
Cohort	Ganho Médio	Peso	Cohort	Ganho Médio	Peso
17	0,359	450,000	25	0,362	450,000
18	0,359	450,000	26	0,360	450,000
19	0,360	450,000	27	0,360	450,000
20	0,364	450,000	28	0,360	450,000
21	0,365	450,000	29	0,360	450,000
22	0,365	450,000			
23	0,366	450,000			
24	0,365	450,000			

Tabela 2

Sendo assim com o peso e o ganho médio diário podemos fazer o cálculo das emissões de metano e oxido nitroso, dessa forma temos:

Cohort	CH₄	N₂O	Cohort	CH₄	N₂O
1	1,537	0,027	9	4,377	0,077
2	1,939	0,034	10	4,684	0,083
3	2,313	0,041	11	4,982	0,088
4	2,665	0,047	12	5,272	0,093
5	3,017	0,053	13	5,556	0,098
6	3,363	0,059	14	5,834	0,103
7	3,703	0,065	15	6,107	0,108
8	4,041	0,071	16	6,379	0,113
Cohort	CH₄	N₂O	Cohort	CH₄	N₂O
17	11,699	0,207	26	11,710	0,207
18	11,697	0,207	27	11,706	0,207
19	11,707	0,207	28	11,705	0,207
20	11,752	0,208	29	11,706	0,207
21	11,763	0,208			
22	11,773	0,208			
23	11,777	0,208			
24	11,770	0,208			
25	11,729	0,207			

Tabela 3

Tanto o CH₄ quanto N₂O são dados por (kg /cab/ano), dessa forma é possível encontrar o valor total que a população de gado produziu os gases de efeito estufa, é necessário apenas multiplicar a população de cada Cohort pela a emissão, com isso foi encontrado que foi produzido um total de 25145,62 kg CH₄ e 444,6566 kg N₂O pelo rebanho de gado.

Considerações Finais

A Embrapa já tem implementado esse modelo em uma planilha em Excel, só que na planilha pode ficar um pouco confuso na hora em que modificamos os dados pois as equações chamam parâmetros e valores de outras abas (da própria planilha) e com isso podendo não ver claramente quais foram as mudanças acontecida no modelo, por isso é uma vantagem implementar no software R ,garantir essa clareza na hora de fazer uma análise de dados ,o R também fornece um amplo número de ferramentas e livrarias para fazer uma análise estatística mais profunda ,facilitando a análise do modelo e a calibração dos parâmetros.

Anexo:

Por ser muito extenso, foi colocado o projeto em uma pasta de dropbox abaixo:

<https://www.dropbox.com/sh/6hbyuin09bdbjew/AABzA7AdK8Kt4-jKuBBzwOG2a?dl=0>

Referência Bibliográfica

- BARCELLOS, A. de O.; VILELA, L. Restabelecimento da capacidade produtiva de pastagens por meio da introdução de *Stylosantes guianensis* cv. Mineirão. Comunicado técnico 65, EMBRAPA: Planaltina, 2001. 4p.
- BARIONI, L. G.; ALBERTINI, T. Z.; MEDEIROS, S. R. de. Modelagem matemática do balanço de gases do efeito estufa na pecuária de corte. Revista Brasileira de Zootecnia, v.40, p.201-212, 2011 Suplemento Especial.
- DIAS-FILHO, M. B.; ANDRADE, C. M. S. Pastagens no trópico úmido. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 30 p. (Documentos, 241).
- DIAS-FILHO, M. B. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. 3. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 190 p.
- DIAS-FILHO, M. B.; SERRÃO, E. A. S.; FERREIRA, J. N. Processo de degradação e recuperação de áreas degradadas por atividades agropecuárias e florestais na Amazônia brasileira. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da. (Ed.). Agricultura tropical: quatro décadas de inovações institucionais e políticas. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 293-305. (Utilização sustentável dos recursos naturais, v. 2).
- IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Emissions from livestock and manure management. In: EGGLESTON, H.S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (eds). IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Hayama: IGES, 2006. chap. 10, p.747-846.
- IPCC INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. In: Guidelines for national greenhouse gas inventories. Emissions from livestock and manure management. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>>

- KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Uso da integração lavoura-pecuária na recuperação de pastagens degradadas. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. Integração Lavoura-Pecuária. Santo Antonio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2003. p.182-224.
- MARCOTT SA, SHAKUN JD, CLARK PU, et al. (2013) A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300Years. Science 339, 1198-1201
- MACEDO, M. C. M. Pastagens no ecossistema cerrados: evolução das pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, 2., 2005, Goiânia, Anais...Goiânia: SBZ. 2005. p. 56-84.
- NEELY, C. et al. Review of evidence on drylands pastoral systems and climate change. LAND and WATER DISCUSSION PAPER-8 FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), Rome, 2009.
- VON BRAUN, J. The food crisis isn't over. Nature 456, p.701, 2008.
- ZIMMER, A.H.; CORRÊA, E.S. A pecuária nacional: uma pecuária a pasto? In: PAULINO, V.T. et al. (Eds.). ENCONTRO SOBRE RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS, 1993, Nova Odessa. Anais... Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, p. 1-25, 1993.