

ANEXO 3

Fórmulas e parâmetros de cálculo das emissões de carbono para a agricultura, a floresta e o uso dos solos em Portugal

1. AGRICULTURA

1.1. EMISSÕES DE CH₄ (METANO) PROVENIENTES DA FERMENTAÇÃO ENTÉRICA DO GADO DOMÉSTICO

A emissão de CH₄ proveniente da fermentação entérica dos animais é calculada através da multiplicação do factor de emissão (EF), pelo número de animais existente. O factor de emissão é dependente do tipo de animal e das suas características.

$$Emi_{CH_4 (y)} = \sum_t [EF_{(i,y)} * N_{(i,y)}]$$

Emi_{CH₄ (y)} – emissões de metano provenientes da fermentação entérica no ano y (kg CH₄/ano);

EF_(i,y) – factor de emissão específico para a categoria animal i, no ano y (kg.cabeça⁻¹.ano⁻¹);

N_(i,y) – n^o total de animais do tipo i, no ano y.

Cálculo do factor de emissão (EF)

Como foi dito anteriormente, o factor de emissão (EF) é variável consoante o tipo de animal, desta forma iremos avaliar este factor para cada categoria animal.

Gado bovino leiteiro

Grande parte das vacas utilizadas para a produção de leite em Portugal pertence à raça Frisians. Contudo, não foi possível obter informação relativa a esta raça, tal como peso vivo médio, alimentação, etc. Desta forma, o factor de emissão foi calculado com base numa equação de regressão, baseada nos valores do EF tabelados pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) para cada região e o valor anual da produção de leite utilizado na determinação desses factores de emissão (APA, 2011). Posto isto, o cálculo do factor de emissão para o gado bovino leiteiro, está apenas dependente da produtividade de leite média anual em litros/cabeça, conforme demonstrado pela seguinte equação de regressão:

$$EF_{CH_4} = 0,0126 * Y + 40,207 \quad (r^2 = 0,961)$$

EF_{CH₄} – Factor de emissão para a fermentação entérica das vacas leiteiras (kg CH₄.cabeça⁻¹.ano⁻¹)

Y – produtividade média do leite de vaca (litros.ano⁻¹.vaca⁻¹)

Gado bovino não leiteiro

Para o gado bovino não leiteiro, o factor de emissão é calculado com base na energia consumida pelos animais durante a alimentação e na fracção dessa energia que é convertida em metano.

$$EF_{CH_4} = (GE * Y_m * 365 \text{ dias/ano}) / (55,65 \text{ MJ/kg CH}_4)$$

EF_{CH4} – Factor de emissão para a fermentação entérica do gado bovino não leiteiro (kg CH₄.cabeça⁻¹.ano⁻¹)

GE – energia bruta consumida (MJ.cabeça⁻¹.dia⁻¹)

Y_m – taxa de conversão do metano, ou seja, a fracção de energia bruta no alimento que é convertida em metano

O cálculo da energia digerida por cada animal é feito com base no modelo energético do IPCC, ou seja através da:

- Energia necessária para a manutenção animal;
- Energia necessária para a actividade animal;
- Energia necessária para o trabalho animal;
- Energia necessária para o crescimento animal;
- Energia necessária para a lactação do animal;
- Energia necessária para a gravidez do animal.

Estes parâmetros são calculados com base nas características dos animais, tais como peso vivo médio, ganho médio de peso diário, produção média de leite durante a amamentação, conteúdo em gordura do leite e também num conjunto de coeficientes tabelados pelo IPCC.

$$NE_m = CF_i * (\text{Weight})^{0,75}$$

$$NE_a = C_a * NE_m$$

$$NE_w = 0,1 * W_{\text{hour}}$$

$$NE_g = 4,18 * \{0,0635 * [0,891 * (\text{Weight} * 0,96) * (478/C_g * MW)]\}^{0,75} * (\text{WG} * 0,92)^{1,097}$$

$$NE_l = \text{milk}_{\text{yield}} * (1,47 + 0,40 * \text{Fat})$$

$$NE_p = C_{\text{pregnancy}} * NE_m$$

$$NE_{ma}/DE = 1,123 - (4,092 * 10^{-3} * DE) + [1,126 * 10^{-5} * (DE)^2] - (25,4/DE)$$

$$NE_{ga}/DE = 1,164 - (5,160 * 10^{-3} * DE) + [1,308 * 10^{-5} * (DE)^2] - (37,4/DE)$$

$$GE = \{[(NE_m + NE_a + NE_l + NE_w + NE_p) / (NE_{ma}/DE)] + [NE_g / (NE_{ga}/DE)]\} / (DE/100)$$

$$FI = GE / ED$$

NE_m – energia líquida necessária para a manutenção do animal (MJ/dia)

NE_a – energia líquida necessária para a actividade animal (MJ/dia)

NE_w – energia líquida necessária para o trabalho animal (MJ/dia)

NE_g – energia líquida necessária para o crescimento animal (MJ/dia)

NE_l – energia líquida necessária durante a lactação (MJ/dia)

NE_p – energia líquida necessária durante a gestação (MJ/dia)

GE – energia bruta (MJ/dia)

FI – *feed intake* (kg MS¹/dia)

NE_{ma}/DE – rácio energia disponível numa dieta de manutenção/energia consumida disponível

NE_{ga}/DE – rácio energia disponível para o crescimento na dieta/energia consumida disponível

DE – energia digestível expressa em percentagem da energia bruta

Weight – peso vivo de um animal (kg/cabeça)

MW – peso de um animal adulto (kg)

WG – peso ganho diário (kg/dia)

Milk_{yield} – produção de leite (kg/dia)

¹ Matéria Seca

W_{hour} – horas de trabalho diário

Fat – teor em gordura do leite (%)

ED – densidade energética do alimento (MJ/kg MS)

C_{fi} – coeficiente de manutenção, específico para cada classe animal

C_a – coeficiente de actividade, em função do regime de alimentação do animal

C_g – coeficiente de crescimento, dependente do sexo do animal

$C_{pregnancy}$ – coeficiente de gravidez

Os parâmetros utilizados para o cálculo da energia bruta consumida pelo gado bovino não leiteiro, e utilizada no cálculo do factor de emissão, foram os mesmos utilizados pela APA na elaboração do PNIR 2011, e estão representados nos quadros que se segue.

Quadro 1 – Parâmetros utilizados na determinação da energia bruta (GE) ingerida pelo gado bovino não leiteiro

Categoria animal	Peso (kg)	C_{fi}	C_a	W_{hour} (hr)	MW (kg)	WG (kg/dia)	C_g	DE (%)
Vitelos de carne (<1ano)	212,0	0,32	0,177	0,0	930	0,948	0,9	65,0
Vitelos, machos para reposição (<1ano)	230,0	0,32	0,177	0,0	930	1,139	1,0	65,0
Vitelos, fêmeas para reposição (<1ano)	182,0	0,32	0,177	0,0	600	0,757	0,8	65,0
Machos (1-2 anos)	543,0	0,32	0,177	0,0	930	0,589	1,0	60,0
Fêmeas para abate (1-2 anos)	366,0	0,32	0,177	0,0	600	0,295	0,8	60,0
Fêmeas reprodutoras (1-2 anos)	366,0	0,32	0,177	0,0	600	0,295	0,8	60,0
Novilhos (>2anos)	789,0	0,32	0,177	0,0	930	0,249	1,2	60,0
Novilhas para abate (>2anos)	462,0	0,32	0,177	0,0	600	0,160	0,8	60,0
Novilhas reprodutoras (>2anos)	462,0	0,32	0,177	0,0	600	0,160	0,8	60,0
Vacas não leiteiras	599,0	0,32	0,177	0,0	600	0,000	0,8	62,0

Fonte: APA, 2011

Quadro 2 – Parâmetros utilizados na determinação da energia bruta (GE) ingerida pelo gado bovino não leiteiro, específicos para as vacas e novilhas reprodutoras

Categoria animal	Prod leite (kg/dia)	% gordura no leite	C _{pregnancy}	% de gravidez
Novilhas reprodutoras (>2anos)	8,0	4,0%	0,1	90,0%
Vacas não leiteiras	8,0	4,0%	0,1	90,0%

Fonte: APA, 2011

Estes parâmetros são representativos das principais raças existentes em Portugal e correspondem a características médias dos animais que as compõem.

Com base nos parâmetros apresentados, foram calculados os factores de emissão específicos para cada categoria animal, apresentados no quadro seguinte.

Quadro 3 – Determinação dos diferentes Factores de Emissão

Categoria animal	Nem	NEa	Ne _w	Ne _g	Ne _i	Ne _p	Ne _{ma} /DE	Ne _{ga} /DE	GE (MJ/dia)	Ym	EF _{CH4} (kg CH4/cabeça/ano)
	(MJ/dia)										
Vitelos de carne (<1ano)	17,9	3,2	0,0	7,4	0,0	0,0	0,51	0,31	100,0	0,06	39,4
Vitelos, machos para reposição (<1ano)	19,0	3,4	0,0	8,9	0,0	0,0	0,51	0,31	111,5	0,06	43,9
Vitelos, fêmeas para reposição (<1ano)	16,0	2,8	0,0	7,8	0,0	0,0	0,51	0,31	95,3	0,06	37,5
Machos (1-2 anos)	36,2	6,4	0,0	8,2	0,0	0,0	0,49	0,28	193,0	0,05	63,3
Fêmeas para abate (1-2 anos)	26,9	4,8	0,0	4,7	0,0	0,0	0,49	0,28	135,1	0,05	44,3
Fêmeas reprodutoras (1-2 anos)	26,9	4,8	0,0	4,7	0,0	0,0	0,49	0,28	135,1	0,06	53,2
Novilhos (>2anos)	47,9	8,5	0,0	3,7	0,0	0,0	0,49	0,28	212,2	0,06	83,5
Novilhas para abate (>2anos)	32,1	5,7	0,0	2,9	0,0	0,0	0,49	0,28	144,4	0,06	56,8
Novilhas reprodutoras (>2anos)	32,1	5,7	0,0	2,9	11,9	2,9	0,49	0,28	194,2	0,06	76,4
Vacas não leiteiras	39,2	6,9	0,0	0,0	11,9	3,5	0,50	0,29	197,5	0,06	77,7

Gado ovino e caprino

A metodologia utilizada no cálculo do EF para esta categoria animal é muito semelhante à utilizada no *Gado Bovino Não leiteiro*. A principal diferença neste subgrupo, é a necessidade de calcular, para os ovinos, a energia despendida para a produção de lã.

$$NE_m = CF_i * (\text{Weight})^{0.75}$$

$$NE_a = C_a * \text{Weight}$$

$$NE_g = \{WG_{\text{Lamb}} * [a + b * BW]\}$$

$$NE_l = \text{milk}_{\text{yield}} * EV_{\text{milk}} / 365$$

$$NE_p = C_{\text{pregnancy}} * NE_m$$

$$NE_{\text{wool}} = \text{Wool}_{\text{Prod}} * EV_{\text{wool}} / 365$$

$$NE_{\text{ma}}/\text{DE} = 1,123 - (4,092 * 10^{-3} * \text{DE}) + (1,126 * 10^{-5} * (\text{DE})^2) - (25,4/\text{DE})$$

$$NE_{\text{ga}}/\text{DE} = 1,164 - (5,160 * 10^{-3} * \text{DE}) + (1,308 * 10^{-5} * (\text{DE})^2) - (37,4/\text{DE})$$

$$GE = \{[(NE_m + NE_a + NE_l + NE_p) / (NE_{\text{ma}}/\text{DE})] + [(NE_g + NE_{\text{wool}}) / (NE_{\text{ga}}/\text{DE})]\} / (\text{DE}/100)$$

$$FI = GE / ED$$

NE_m – energia líquida necessária para a manutenção do animal (MJ/dia)

NE_a – energia líquida necessária para a actividade animal (MJ/dia)

NE_g – energia líquida necessária para o crescimento animal (MJ/dia)

NE_l – energia líquida necessária durante a lactação (MJ/dia)

NE_p – energia líquida necessária durante a gestação (MJ/dia)

GE – energia bruta (MJ/dia)

FI – *feed intake* (kg MS/dia)

NE_{ma}/DE – rácio energia disponível numa dieta de manutenção/energia consumida disponível

NE_{ga}/DE – rácio energia disponível para o crescimento na dieta/energia consumida disponível

DE – energia digestível expressa em percentagem da energia bruta

$Weight$ – peso vivo de um animal (kg/cabeça)

WG_{Lamb} – peso ganho diário de um borrego, desde o desmame até à idade adulta ou de abate (kg/dia)

BW – peso médio de um borrego, desde o desmame até à idade adulta ou de abate (kg/cabeça)

$Milk_{yield}$ – produção de leite (kg/dia)

$Wool_{Prod}$ – Produção de lã por animal e por ano (kg)

C_{fi} – coeficiente de manutenção, específico para cada classe animal

C_a – coeficiente de actividade, em função do regime de alimentação do animal

a, b – parâmetros dependentes do sexo do animal, utilizados na determinação do valor energético do ganho de peso (MJ/kg)

EV_{milk} – valor energético do leite (MJ/kg)

EV_{wool} – valor energético da produção de lã (MJ/kg)

$C_{pregnancy}$ – coeficiente de gravidez

Assim como para o *Gado Bovino Não Leiteiro*, os parâmetros utilizados para o cálculo da energia bruta consumida e respectivo factor de emissão do gado ovino e caprino, foram os mesmos utilizados pela APA no PNIR 2011. Estes parâmetros são diferentes quer se trate de fêmeas, machos ou crias e são médias das principais raças existentes em Portugal.

Quadro 4 – Parâmetros utilizados na determinação da energia bruta (GE) ingerida pelo gado ovino e caprino

Categoria animal		Peso (kg)	C _{fi}	C _a	WG _{Lamb} (kg/dia)	a	b	BW (kg)	Prod Lã (kg)	EV _{lã} (MJ/kg)	DE (%)
Ovinos	Ovelhas	53,8	0,22	0,011					3,60	24,00	60,0%
	Outros ovinos	79,9	0,22	0,011					6,50	24,00	60,0%
	Borregos	9,5	0,24	0,011	0,20	2,50	0,35	9,50			60,0%
Caprinos	Cabras	28,5	0,22	0,024							60,0%
	Outros caprinos	37,5	0,22	0,024							60,0%
	Cabritos	5,0	0,24	0,024	0,16	2,50	0,35	5,00			60,0%

Fonte: APA, 2011

Quadro 5 – Parâmetros utilizados na determinação da energia bruta (GE) ingerida pelo gado bovino não leiteiro, específicos para as ovelhas e cabras

Categoria animal	Prod leite (kg/dia)	EV _{leite} (MJ/kg)	C _{pregnancy}	% de gravidez
Ovelhas	0,3	4,60	0,08	100,0%
Cabras	1,2	2,80	0,07	100,0%

Fonte: APA, 2011

Com base nos parâmetros apresentados, foi possível determinar os factores de emissão específicos para cada categoria animal, apresentados no quadro seguinte.

Quadro 6 – Determinação dos diferentes Factores de Emissão

Categoria animal		Ne _m	Ne _a	Ne _g	Ne _i	Ne _p	Ne _{lã}	Ne _{ma} /DE	Ne _{ga} /DE	GE (MJ/dia)	Y _m	EF _{CH4} (kg CH4/cabeça/ano)
		(MJ/dia)										
Ovinos	Ovelhas	4,3	0,6	0,00	1,17	0,3	0,24	0,495	0,278	22,9	0,06	9,0
	Outros ovinos	5,8	0,9	0,00	0,00	0,0	0,43	0,495	0,278	25,0	0,06	9,8
	Borregos	1,3	0,1	1,14	0,00	0,0		0,495	0,278	11,5	0,06	4,5
Caprinos	Cabras	2,7	0,7	0,00	3,43	0,2		0,495	0,278	23,5	0,05	7,7
	Outros caprinos	3,3	0,9	0,00	0,00	0,0		0,495	0,278	14,1	0,05	4,6
	Cabritos	0,8	0,1	0,68	0,00	0,0		0,495	0,278	7,1	0,05	2,3

Gado suíno e equídeo

Para estas duas categorias, devido às baixas emissões de metano normalmente apresentadas, foram utilizados como factores de emissão, valores tabelados pelo IPCC, específicos para países desenvolvidos.

Quadro 7 – Factores de Emissão do gado Equídeo e Suíno

Categoria animal		EF _{CH4} (kg CH4/cabeça/ano)
Equídeos	Equinos	18,0
	Outros Equídeos	10,0
Suínos	Suínos (porcas reprodutoras)	1,5
	Suínos (outros)	1,5

Fonte: IPCC, 1996 (Workbook)

Aves

Nesta categoria não existem emissões de metano provenientes da fermentação entérica.

1.2. EMISSÕES DE CH₄ (METANO) PROVENIENTES DA GESTÃO DO ESTRUME ANIMAL

A metodologia utilizada é a mesma que para a fermentação entérica dos animais, em que para determinarmos o valor da emissões em cada ano basta multiplicarmos o número de animais existentes em cada ano pelo respectivo factor de emissão, conforme mostra a equação.

$$Emi_{CH_4} = \sum_t \sum_c [EF_{(i,k)} * N_{(i,k)}]$$

Emi_{CH₄} – emissões de metano provenientes da gestão do estrume (kg CH₄/ano)

EF_(i,k) – factor de emissão para uma determinada categoria animal i, a viver na região climática k (kg.cabeça⁻¹.ano⁻¹)

N_(i,k) – nº total de animais do tipo i, a viver na região climática k

Cálculo do Factor de Emissão (EF)

O factor de emissão é calculado com base na quantidade de estrume produzido por animal e na fracção desse estrume que é manuseado em cada um dos sistemas de gestão referidos (lagoas anaeróbias, tanques, armazenamento sólido e pasto).

$$EF_{(i)} = VS_{(i)} * 365 * Bo_{(i)} * 0.67 * \sum_{jk} MCF_{(jk)} * MMS_{(jk)}$$

VS_(i) – Quantidade de excreções, expressa em Sólidos Voláteis, para um animal médio i na população (kg VS/dia);

$B_{0(i)}$ – Capacidade máxima de produção de metano do estrume (m^3/kg VS) por animal da categoria i. $0,67 kg/m^3$ é a densidade do metano;

$MCF_{(jk)}$ – Factor de conversão do metano para cada Sistema de Gestão de Estrume j e para cada região climática k;

$MMS_{(jk)}$ – Fracção do estrume total produzido pela categoria animal i manuseado no Sistema de Gestão de Estrume j e para cada região climática k.

A quantidade de estrume produzido depende do tipo de alimentação de cada animal e da energia existente no alimento.

$$VS = GE * ED_{feed} * [1-ED/100] * [1-Ash/100]$$

GE – energia média bruta consumida diariamente (MJ/dia)

ED_{feed} – densidade energética do alimento, assumida como constante e igual a 18,45 MJ/kg de MS

DE – Energia digestível do alimento (%)

Ash – conteúdo mineral do alimento (%)

A energia bruta foi calculada, para cada categoria animal, da mesma forma que para a Fermentação Entérica, e os restantes parâmetros utilizados no cálculo do EF, foram os mesmos utilizados pela APA no PNIR 2011.

Quadro 8 – Parâmetros utilizados no cálculo do EF de CH₄ da Gestão do Estrume

Classe Animal		DE (%)	GE (MJ/dia)	Ash (%)	VS (kg VS/dia)	B ₀ (m ³ /kg VS)
Gado bovino leiteiro	Vacas leiteiras	60,0	325,1	8,0	6,5	0,24
Gado bovino não leiteiro	Bezerros (<1ano)	65,0	102,3	8,0	1,8	0,17
	Outros	60,0	173,1	8,0	3,5	0,17
Suínos	Leitões (<20kg)	79,4	7,8	2,0	0,1	0,45
	Porcos de engorda	72,6	49,8	2,0	0,7	0,45
	Porcas e varrascos	68,0	63,1	2,0	1,1	0,45
Ovinos	Ovinos	60,0	19,8	8,0	0,4	0,19
Caprinos	Caprinos	60,0	14,9	8,0	0,3	0,17
Equídeos	Cavalos	70,0	109,8	4,0	1,7	0,33
	Outros	70,0	61,0	4,0	1,0	0,33
Aves	Galinhas	63,0	2,2	5,0	0,0	0,32
	Frangos de corte	68,0	1,5	2,0	0,0	0,32
	Perus	68,0	4,8	3,0	0,1	0,32
	Patos	66,0	2,2	2,0	0,0	0,32
Outros	Coelhos	56,7	22,2	3,0	0,5	0,33

Fonte: APA, 2011

No caso das vacas leiteiras e dos equídeos, a energia bruta consumida (GE) foi determinada em função do factor de emissão utilizado para as emissões de CH₄ da Fermentação Entérica.

O peso de cada sistema de gestão de estrume (MMS), conforme explicado anteriormente, foi assumido constante no Cenário Baixo e variável no Cenário Médio e Alto. Os valores que serviram de base foram os mesmos utilizados pela APA no PNIR 2011 para 2009. A variação considerada nos Cenários Médio e Alto teve como base a opinião de especialista na área que consideraram uma possível conversão de 30% no primeiro caso e 50% no segundo, do estrume armazenado nas Lagoas para Tanques.

Quadro 9 – Peso de cada Sistema de Gestão de Estrume (MMS) em 2009 e em 2050

Classe Animal		MMS (%)									
		Lagoas			Tanques			Armazenamento Sólido		Pasto	
		2009	2050 ¹	2050 ²	2009	2050 ¹	2050 ²	2009	2050*	2009	2050*
Gado bovino leiteiro	Vacas leiteiras	1,9%	1,3%	1,0%	18,9%	19,5%	19,9%	49,3%	49,3%	30,0%	30,0%
	Bezerros (<1ano)					38,0%				100,0%	100,0%
Gado bovino não leiteiro	Outros				38,0%	38,0%	38,0%	3,5%	3,5%	58,5%	58,5%
Suínos	Leitões (<20kg)	84,8%	59,4%	42,4%	6,5%	38,0%	48,9%	1,1%	1,1%	7,7%	7,7%
	Porcos de engorda	84,8%	59,4%	42,4%	8,4%	38,0%	50,8%	2,1%	2,1%	4,9%	4,9%
	Porcas e varrascos	84,8%	59,4%	42,4%	6,5%	31,9%	48,9%	1,1%	1,1%	7,7%	7,7%
Ovinos	Ovinos	19,0%	13,3%	9,5%		5,7%	9,5%	1,0%	1,0%	80,0%	80,0%
Caprinos	Caprinos	19,0%	13,3%	9,5%		5,7%	9,5%	1,0%	1,0%	80,0%	80,0%
Equídeos	Cavalos							60,0%	60,0%	40,0%	40,0%
	Outros							60,0%	60,0%	40,0%	40,0%
Aves	Galinhas				95,0%	95,0%	95,0%	5,0%	5,0%		
	Frangos de corte							96,2%	96,2%	3,8%	3,8%
	Perus							99,9%	99,9%	0,1%	0,1%
Outros	Patos				9,5%	9,5%	9,5%	90,5%	90,5%		
	Coelhos							100,0%	100,0%		

¹ Cenário Médio

² Cenário Alto

Cada um dos sistemas de gestão de estrume (MMS) tem um factor de conversão de metano (MCF) associado, sendo o tratamento em lagoas anaeróbias aquele que apresenta um MCF mais elevado. Os valores do MCF estão tabelados pelo IPCC e são dependentes do tipo de clima.

Quadro 10 – MCF (factor de conversão do metano em %)

MMS (sistema de gestão do estrume)	Clima Temperado	Clima Fresco
Lagoas anaeróbias	45	39
Tanques	0	0
Armazenamento sólido	1,5	1
Pasto	1,5	1

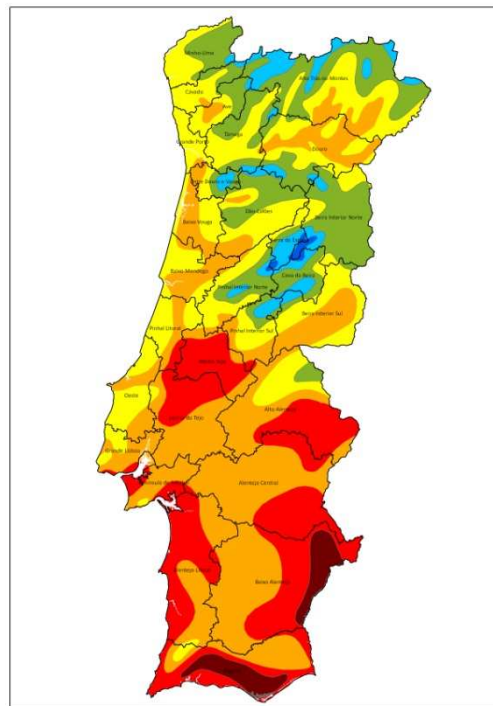
Fonte: APA, 2011

Considerou-se que o factor de conversão do metano (MCF) para os tanques seria igual a zero, uma vez que o tempo de retenção deste tipo de sistemas é inferior a um mês.

Como podemos observar no Quadro 10, o factor de conversão do metano (MCF) é variável consoante o tipo de clima. Desta forma, foi necessário determinar a percentagem de animais existentes em cada região climática. De acordo com o IPCC, em Portugal, existem duas regiões climáticas, uma temperada (com temperatura média do ar entre 15°C e 25°C) e uma fresca (com temperatura média do ar inferior

a 15°C). Para o estabelecimento desta proporção foram utilizados os valores dos efectivos pecuários do Recenseamento Agrícola do INE ao nível das NUTs III e o mapa das temperaturas médias anuais apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Temperatura média do ar por NUTs III



A variação do efectivo pecuário assumida nos três cenários foi considerada igual em todo o País, desta forma, a proporção dos efectivos em cada região climática foi considerada constante ao longo do tempo.

1.3. EMISSÕES DE CH₄ (METANO) PROVENIENTES DO CULTIVO DE ARROZ

O cálculo destas emissões é feito através da multiplicação da área de arroz alagado pelo factor de emissão (EF).

$$E_{\text{Rice}_{\text{CH}_4(y)}} = \text{EF} * \text{Rice}_{\text{Area}(y)} * 10^{-2}$$

$E_{\text{Rice}_{\text{CH}_4(y)}}$ – emissões de metano provenientes da produção de arroz no ano y (ton CH₄/ano)

EF – factor de emissão sazonalmente integrado e ajustado às práticas de cultivo (g/m²/ano)

$\text{Rice}_{\text{Area}(y)}$ – área de arroz no ano y (ha)

Cálculo do Factor de Emissão (EF)

O factor de emissão é calculado através da multiplicação de um conjunto de factores biológicos, químicos e físicos, como por exemplo o nível da água, a incorporação ou não de inputs orgânicos e em que quantidade, a textura do solo, etc. Grande parte destes factores estão tabelados e prevê-se que pouco variem ao longo do tempo, à excepção da quantidade de resíduo que é incorporado no solo ou que é queimado no fim da campanha. Este factor é estimado com base na área de arroz que está sob técnicas de produção e protecção integrada, em que é proibida a queima do restolho, e em que normalmente é feita a sua incorporação no solo.

$$EF = E_{fc} * SF_w * SF_o * SF_s$$

E_{fc} – factor de emissão para campos continuamente alagados sem alterações orgânicas, sazonalmente integrado (31,9 g/m²/ano)

SF_w – factor de escala para o regime de gestão da água e para as condições do ecossistema hídrico (1,0)

SF_o – factor de escala que reflecte as alterações orgânicas (palha de arroz, estrume, composto, etc.), porque carbono decomposto aumenta a formação de metano

SF_s – factor de escala para o tipo de solo (1,0)

À excepção do SF_o , todos os factores se mantiveram constantes ao longo do tempo. O factor que reflecte as alterações orgânicas no solo (SF_o) está dependente da quantidade de carbono deixado no solo pela cultura no fim do ciclo, ou seja, da quantidade de resíduo da cultura que é incorporado no solo. Sendo assim, a variação na produtividade ao longo do tempo verificada no Cenário Baixo, irá influenciar o valor final do SF_o , pois quanto mais produção gerada por hectare, maior a quantidade de resíduo deixado no solo. Para além disso, outra variável a ter em conta no cálculo deste factor, é a área de arroz que se encontra em modo de produção integrado, uma vez que neste modo de produção, ao contrário do modo convencional, não é permitida a queima dos resíduos no campo, sendo obrigatória a sua incorporação. Em todos os cenários considerámos que em 2020 toda a produção de arroz estaria sob este modo, e desta forma todo o resíduo da cultura era incorporado no solo.

Quadro 11 – Sfo, factor de escala que reflecte as alterações orgânicas

Ano	Sfo		
	Cenário Baixo	Cenário Médio	Cenário Médio
2009	2,1	2,1	2,1
2020	2,3	2,5	2,6
2030	2,3	2,5	2,6
2040	2,2	2,4	2,7
2050	2,2	2,4	2,7

1.4. EMISSÕES DE N₂O (ÓXIDO NITROSO) PROVENIENTES DA GESTÃO DO ESTRUME ANIMAL

O cálculo destas emissões é ligeiramente diferente dos anteriores. Este valor é calculado multiplicando a quantidade de estrume produzido e armazenado/manuseado em cada um dos Sistemas de Gestão de Estrume (MMS) pelo factor de emissão. Só que aqui o factor de emissão está tabelado e é dependente do tipo de MMS.

O importante neste ponto é saber a percentagem de estrume manuseado/armazenado em cada um dos MMS. Segundo o IPCC existem 4 sistemas de gestão de estrume já identificados anteriormente, são as lagoas anaeróbias, os tanques líquidos, o armazenamento sólido e o pasto.

A quantidade de azoto excretado pelos animais é calculada através da multiplicação do número de animais existente em cada categoria pela quantidade média anual de azoto excretado por animal dessa categoria.

$$EN_{2O(s)} = 44/28 * \sum_i [N_{(i)} * Nex_{(i)} * MMS_{(i,s)}] * EF_{3(s)}$$

EN_{2O(s)} – emissões de N₂O provenientes do estrume manuseado/armazenado no Sistema de Gestão de Estrume s (kg N₂O/ano)

N_(i) – número de animais da categoria i

Nex_(i) – quantidade média de azoto excretado anualmente por animal (kg N/animal/ano)

MMS_(i,s) – fracção do estrume proveniente dos animais da categoria i que é manuseado/armazenado no Sistema de Gestão do Estrume s

EF_{3(s)} – factor de emissão de N₂O para o Sistema de Gestão do Estrume s (kg N₂O-N/kg N)

O peso de cada Sistema de Gestão do Estrume (MMS) na produção total de estrume foi o mesmo utilizado para o cálculo das emissões de CH₄ da Gestão de Estrume, representado no **Quadro 9**. Assim como para as emissões de metano, considerou-se, nos Cenários Médio e Alto, uma diminuição de 30 e 50% respectivamente até 2050 do estrume armazenado em lagoas anaeróbias.

A quantidade de azoto excretado pelos animais é variável consoante o tipo de animal e os valores utilizados foram os mesmos apresentados pela APA no PNIR 2011. Estes valores foram considerados constantes ao longo do tempo e encontram-se representados no quadro seguinte.

Quadro 12 – Quantidade de azoto excretado por categoria animal

Categoria Animal		Nex (kg N/cabeça/ano)
Gado bovino leiteiro	Vacas leiteiras	114,0
	Vitelos (<1ano)	25,0
	Bezerros (1-2 anos)	40,0
Gado bovino não leiteiro	Novilhos (>2anos)	41,0
	Novilhas (>2anos)	55,0
	Vacas não leiteiras	80,0
	Leitões (<20kg)	0,0
Suínos	Porcos de engorda	13,0
	Porcas	17,5
	Varrascos	18,0
Ovinos	Ovelhas	9,2
	Outros ovinos	6,6
Caprinos	Borregos	0,0
	Cabras	7,0
	Outros caprinos	6,6
Equídeos	Cabritos	0,0
	Cavalos	44,0
Aves	Outros	22,0
	Galinhas	0,7
	Frangos de corte	0,5
	Perus	0,5
	Patos	0,5
Outros	Coelhos	9,0

Fonte: APA, 2011

Como foi dito anteriormente os factores de emissão são constante e encontram-se tabelados.

Quadro 13 – Factor de Emissão por Sistema de Gestão do Estrume (MMS)

MMS	EF ₃ (kg N ₂ O-N/kg N)
Lagoas anaeróbias	0,001
Tanques	0,001
Armazenamento sólido	0,02
Pasto	0,02

Fonte: APA, 2011

1.5. EMISSÕES DIRECTAS DE N₂O (ÓXIDO NITROSO) PROVENIENTES DOS SOLOS AGRÍCOLAS

O valor das emissões directas de N₂O provenientes dos solos agrícolas é calculado multiplicando a quantidade de azoto incorporado no solo por cada uma das actividades descritas, pelo factor de emissão tabelado pelo IPCC, que converte a quantidade de N total incorporado no solo em kg de N₂O emitido para a atmosfera.

$$EN_{2O_{Direct}} = 44/28 * (FSN + FAM + FBN + FCR) * EF_1$$

EN_{2O_{Direct}} – emissões directas de N₂O provenientes dos solos agrícolas (kg N₂O/ano)

FSN – quantidade anual de fertilizante sintético azotado aplicado ao solo, ajustado tendo em conta a quantidade que volatiliza como NH₃ (kg N/ano)

FAM – quantidade de estrume azotado aplicado anualmente no solo, ajustado tendo em conta a quantidade que volatiliza como NH₃ (kg N/ano)

FBN – quantidade de azoto fixo anualmente pelas culturas fixadoras de azoto (kg N/ano)

FCR – quantidade de azoto devolvido ao solo anualmente pelos resíduos das culturas (kg N/ano)

EF₁ – factor de emissão de N₂O proveniente do *input* de azoto ao solo (kg N₂O-N/kg N *input*)

$$Emi_{N2O} = 44/28 * FGR * EF_3$$

Emi_{N2O} – emissões de N₂O provenientes do estrume depositado no solo durante o pastoreio (kg N₂O/ano)

FGR – quantidade anual de azoto nas excreções animais que é depositado no solo durante o pastoreio (kg N/ano)

EF_3 – factor de emissão de N_2O proveniente do N aplicado ao solo durante o pastoreio (kg N_2O-N/kg N)

Os factores de emissão considerados, EF_1 e EF_3 , são constante e iguais a 0,0125 (kg N_2O-N/kg N) e 0,02 (kg N_2O-N/kg N) respectivamente.

Para calcular a quantidade total de azoto que é incorporado no solo foi necessário apurar o seguinte:

- A quantidade total de fertilizantes azotados incorporados no solo em cada ano;
- A quantidade de estrume, proveniente de cada MMS, que é utilizada como fertilizante (foi considerado que 100% do estrume armazenado em cada um do MMS era para utilizar como fertilizante, à excepção de 20% do estrume dos lagoas anaeróbias que foi considerado perdido por lixiviação);
- A produção de cada uma das culturas fixadoras de N produzidas em Portugal;
- A produção das principais culturas produzidas em Portugal;
- Fracção do resíduo das culturas que é queimado no terreno;

1.5.1. FERTILIZANTES AZOTADOS

A fórmula utilizada para quantificar a quantidade de azoto aplicado ao solo como fertilizante sintético, depois de descontar a quantidade de N que volatiliza como NH_3 , é a seguinte:

$$FSN = N_{Fert} * (1 - Frac_{GASF})$$

N_{Fert} – quantidade total de azoto presente nos fertilizantes sintéticos consumida anualmente

$Frac_{GASF}$ – fracção do azoto nos fertilizantes sintéticos aplicado ao solo que volatiliza como NH_3 ou NO_x

A quantidade total de fertilizantes sintéticos azotados consumida em 2009 foi obtida através das Estatísticas Agrícolas de 2010 do INE, sendo aplicado para os restantes anos uma taxa de crescimento média anual, diferente para cada cenário. No Cenário de Baixo o consumo de fertilizantes sintéticos azotados apenas variou em função da área ocupada pelas culturas agrícolas, enquanto que nos Cenários Médio e Alto, para além da área, tivemos em consideração a eficiência no uso destes fertilizantes verificada nas últimas décadas, ou seja, na quantidade aplicada por hectare.

Quadro 14 – Consumo de fertilizantes sintéticos azotados

Ano	N _{fert} (ton N/ano)		
	Cenário Baixo	Cenário Médio	Cenário Alto
2009	105.130.000,0	105.130.000,0	105.130.000,0
2020	100.674.983,8	86.081.053,5	89.472.306,7
2030	90.729.041,9	71.862.349,2	76.519.621,7
2040	79.380.478,8	54.857.093,1	64.882.345,7
2050	79.380.478,83	47.162.312,9	55.781.327,7

1.5.2. ESTRUME ANIMAL APLICADO AO SOLO COMO FERTILIZANTE

A fórmula utilizada para quantificar a quantidade de azoto, proveniente do estrume, que é aplicado ao solo como fertilizante, levando em consideração a quantidade de N que volatiliza como NH₃, é a seguinte:

$$FAM = \sum_i \{N_{(i)} * Nex_{(i)} * \sum_s [MMS_{(i,s)} * MSSD_{(i,s)} * (1-EF_{NH3(i)}) * (1-EF_{NH3SD(i)})]\}$$

N_(i) – número de animais da categoria i

Nex_(i) – azoto médio excretado anualmente pela categoria animal i

MMS_(i,s) – fracção do estrume da categoria animal i manuseado no Sistema de Gestão de Estrume s

MSSD_(i,s) – fracção do estrume da categoria animal i manuseado no Sistema de Gestão de Estrume s que é utilizado como fertilizante

EF_{NH3(i)} – fracção do azoto nos Sistemas de Gestão do Estrume, da categoria animal i, que é perdida para a atmosfera como amónia durante o acondicionamento e armazenamento

EF_{NH3SD(i)} – fracção do azoto no estrume que é perdido para a atmosfera como amónia após a aplicação como fertilizante

Os parâmetros utilizados neste ponto foram os mesmos utilizadas na quantificação das emissões de CH₄ e N₂O da gestão do estrume dos animais, no que diz respeito à quantidade de azoto excretado por animal e no peso de cada Sistema de Gestão de Estrume na produção total de estrume.

Foi considerado, tanto para o armazenamento sólido, como para os tanques, que a totalidade do estrume manuseado e armazenado neste dois sistemas seria 100% para

aplicação como fertilizante. No caso das lagoas, foi considerado uma perda de 20% do chorume/estrupe, sendo apenas aplicado ao solo os restantes 80% produzidos.

Em relação ao EF_{NH_3SD} e ao EF_{NH_3} os valores são os representados no quadro seguinte.

Quadro 15 – Fracção do azoto perdida para a atmosfera como amónia nos Sistemas de Gestão do Estrume durante o acondicionamento e armazenamento (EF_{NH_3}) e após a aplicação como fertilizante (EF_{NH_3SD})

Classe animal	Categoria	EF_{NH_3} (kg N-NH ₃ /kg N)	EF_{NH_3SD} (kg NH ₃ -N/kg N)
Gado bovino leiteiro	Vacas leiteiras	0,17	0,20
	Vitelos (<1ano)	0,17	0,20
	Bezerros (1-2 anos)	0,17	0,20
Gado bovino não leiteiro	Novilhos (>2anos)	0,17	0,20
	Novilhas (>2anos)	0,17	0,20
	Vacas não leiteiras	0,17	0,20
Suínos	Leitões (<20kg)	0,22	0,24
	Porcos de engorda	0,22	0,24
	Porcas	0,22	0,24
	Varrascos	0,22	0,24
Ovinos	Ovelhas	0,10	0,10
	Outros ovinos	0,10	0,10
	Borregos	0,10	0,10
Caprinos	Cabras	0,10	0,10
	Outros caprinos	0,10	0,10
Equídeos	Cabritos	0,10	0,10
	Cavalos	0,12	0,10
Aves	Outros	0,12	0,10
	Galinhas	0,23	0,24
	Frangos de corte	0,22	0,24
	Perus	0,22	0,24
Outros	Patos	0,22	0,24
	Coelhos	0,22	0,24

Fonte: APA, 2011

Tal como nas na quantificação das emissões de CH₄ e N₂O da Gestão do Estrume, a principal variável com influência directa no resultado destes cálculos foi o efectivo pecuário existente em cada ano, para ambos os cenários. Para além disso, foi contabilizado mais uma vez, para os Cenários Médio e Alto e até 2050, uma conversão

de 30 e 50% respectivamente, do estrume armazenado/manuseado nas lagoas para tanques.

1.5.3. PLANTAS FIXADORAS DE AZOTO

A estimativa do azoto fixado pelas plantas fixadoras de azoto é feita com base na seguinte equação:

$$FBN = \sum_i \{Crop_{BF(i)} * (1 + Res_{BF}/Crop_{BF(i)}) * Frac_{DM(i)} * Frac_{NCRBF(i)}\}$$

$Crop_{BF(i)}$ – produção da cultura fixadora de azoto i (ton/ano)

$Res_{BF}/Crop_{BF(i)}$ – rácio resíduo/cultura para a cultura fixadora de azoto i (ton/ton)

$Frac_{DM(i)}$ – fracção de matéria seca na biomassa acima do solo da cultura fixadora de azoto i

$Frac_{NCRBF(i)}$ – fracção de azoto existente da biomassa da cultura fixadora de azoto i (ton/ton)

Os dados relativos à produção das principais culturas fixadoras de azoto produzidas em Portugal em 2009 tiveram como base os dados estatísticos do INE e os dados da FAO (FAOStat). Os parâmetros utilizados na quantificação do azoto incorporado no solo pela planta foram os mesmos utilizados pela APA no PNIR 2011.

Quadro 16 – Parâmetros utilizados na quantificação do azoto incorporado ao solo pelas plantas fixadoras de N

Cultura	$Res_{BF}/Crop_{BF}$	$Frac_{DM}$	$Frac_{NCRBF}$ (kg N/kg de biomassa seca)
Amendoim	1,0	0,86	0,0106
Favas	1,5	0,87	0,0202
Favas, em verde	1,5	0,35	0,0202
Feijão	2,1	0,85	0,0262
Grão de bico	1,5	0,85	0,0262
Tremoço	1,5	0,85	0,0296
Ervilhas, em verde	1,5	0,87	0,0142
Alfarroba	1,0	0,85	0,0262
Feijão verde	1,5	0,20	0,0262

Fonte: APA, 2011

Para estas culturas, apenas se fez variar ao longo dos anos e para os três cenários, a área ocupada para cada uma delas, mantendo-se as produtividades.

1.5.4. RESÍDUOS DAS CULTURAS AGRÍCOLAS

A estimativa do azoto incorporado no solo pelos resíduos das culturas foi feita para as principais culturas agrícolas e teve como base a seguinte equação:

$$FCR = \sum_i \{ [Crop_{(i)} * Res/Crop_{(i)} * Frac_{DM(i)} * Frac_{NCR(i)}] * [1 - Frac_{BURN(i)} - Frac_{FUEL(i)} - Frac_{CNST(i)} - Frac_{FOD(i)}] \}$$

$Crop_{(i)}$ – produção total anual da cultura agrícola i (ton/ano)

$Res/Crop_{(i)}$ – rácio resíduo/cultura para a cultura agrícola i (ton/ton)

$Frac_{DM(i)}$ – fracção de matéria seca existente na biomassa acima do solo da cultura agrícola i (considerada igual em toda a planta)

$Frac_{NCRBF(i)}$ – fracção de azoto na biomassa seca da cultura agrícola i (ton/ton)

$Frac_{BURN(i)}$ – fracção do resíduo da cultura que é queimado no solo antes e depois da colheita

$Frac_{FUEL(i)}$ – fracção do resíduo da cultura que é queimado como combustível fora do campo

$Frac_{CNST(i)}$ – fracção do resíduo da cultura utilizada na construção

$Frac_{FOD(i)}$ – fracção do resíduo da cultura utilizada para forragem animal

Assim como para as culturas fixadoras de azoto, os dados relativos à produção das principais culturas agrícolas em Portugal, foram baseados nas estatísticas agrícolas do INE e da FAO (FAOStat). Os restantes parâmetros utilizados na estimativa da quantidade de azoto incorporado no solo pelos resíduos destas culturas foram os mesmos utilizados pela APA no PNIR 2011.

Quadro 17 – Parâmetros utilizados na quantificação do azoto incorporado pelos resíduos das principais culturas agrícolas

Cultura	Res _{BF} /Crop _{BF}	Frac _{DM}	Frac _{NCRBF} (kg N/kg de biomassa seca)
Amendoim	1,0	0,86	0,0106
Favas	1,5	0,87	0,0202
Feijão	2,1	0,85	0,0262
Grão de bico	1,5	0,85	0,0262
Tremoço	1,5	0,85	0,0296
Ervilhas, em verde	1,5	0,87	0,0142
Alfarroba	1,0	0,85	0,0262
Feijão verde	1,5	0,20	0,0262
Trigo	1,3	0,85	0,0028
Triticale	1,5	0,88	0,0038
Milho	1,0	0,78	0,0081
Cevada	1,2	0,85	0,0043
Centeio	1,6	0,90	0,0048
Aveia	1,3	0,92	0,0070
Arroz	1,4	0,85	0,0067
Girassol	1,0	0,93	0,0194
Tomate	2,0	0,27	0,0150
Tabaco	2,0	0,15	0,0067
Batata	0,4	0,22	0,0110
Beterraba sacarina	0,2	0,15	0,0150
Inhame	1,0	0,15	0,0150
Batata doce	0,4	0,22	0,0110
Milho para forragem	0,1	0,18	0,0158
Sorgo para forragem	0,1	0,28	0,0108
Abóbora	1,0	0,15	0,0150
Alface	0,1	0,10	0,0136
Alho	0,1	0,10	0,0136
Beringela	1,0	0,15	0,0150
Cebolas	0,1	0,10	0,0136
Cenouras	0,1	0,13	0,0136
Couve-flor e brócolos	0,1	0,14	0,0270
Couve	0,1	0,14	0,0270
Espinafres	0,1	0,10	0,0136
Melancia	1,0	0,15	0,0150
Melão	1,0	0,15	0,0150
Pepino	1,0	0,15	0,0150
Cogumelos	1,0	0,15	0,0150
Marmelos	1,0	0,15	0,0150
Romã	1,0	0,15	0,0150
Ananás	1,0	0,15	0,0150
Banana	1,0	0,15	0,0150
Pêssego	1,0	0,15	0,0150
Maçã	1,0	0,15	0,0150
Kiwi	1,0	0,15	0,0150
Perês	1,0	0,15	0,0150
Ginjas	1,0	0,15	0,0150
Figos	1,0	0,15	0,0150
Dióspiros	1,0	0,15	0,0150

Damascos	1,0	0,15	0,0150
Cereja	1,0	0,15	0,0150
Ameixa	1,0	0,15	0,0150
Pêra abacate	1,0	0,15	0,0150
Morango	1,0	0,15	0,0150
Framboesa	1,0	0,15	0,0150
Tangerina	1,0	0,15	0,0150
Limão	1,0	0,15	0,0150
Laranja	1,0	0,15	0,0150
Toranja	1,0	0,15	0,0150
Nozes	1,0	0,85	0,0150
Castanhas	1,0	0,85	0,0150
Avelãs	1,0	0,85	0,0150
Amêndoa	1,0	0,85	0,0150
Azeitona (Azeite)	1,0	0,15	0,0150
Azeitona de mesa	1,0	0,15	0,0150
Uvas para vinho	1,0	0,15	0,0150
Uva de mesa	1,0	0,15	0,0150

Fonte: APA, 2011

Ao contrário do sucedido no ponto anterior, neste caso fizemos variar não só a área ocupada pelas culturas, como também as produtividades das principais culturas a uma taxa diferente para cada um dos cenários.

1.5.5. ESTRUME DEPOSITADO NO SOLO DURANTE O PASTOREIO

A quantidade de azoto depositado no solo, presente no estrume e na urina dos animais, durante o pastoreio é quantificada da seguinte forma:

$$FGR = \sum_i [N_{(i)} * Nex_{(i)} * MMS_{GRAZ(i)}]$$

$N_{(i)}$ – número de animais da categoria i

$Nex_{(i)}$ – quantidade azoto excretado anualmente por cabeça de animal da categoria i

$MMS_{GRAZ(i)}$ – fracção do estrume da categoria animal i que é depositado no pasto durante o pastoreio dos animais

Os dados utilizados neste ponto, foram os mesmos utilizados na quantificação das emissões de CH_4 e N_2O provenientes da gestão do estrume, no que diz respeito às quantidade de N excretadas pelas diferentes categorias animais e ao peso do “Pasto” na produção total de estrume.

Nos três cenários considerados, o único parâmetro com variação ao longo do tempo é o efectivo pecuário existente em cada ano.

1.6. EMISSÕES INDIRECTAS DE N₂O (ÓXIDO NITROSO) PROVENIENTES DOS SOLOS AGRÍCOLAS

Para o cálculo destas emissões é necessário saber qual a quantidade de azoto proveniente dos fertilizantes sintéticos e do estrume aplicado ao solo que volatiliza e qual a quantidade que é perdida por lixiviação ou escoamento. Após o cálculo deste valor multiplica-se pelo factor de emissão corresponde e tabelado pelo IPCC, que relaciona a quantidade de NH₃ e NO_x com a quantidade de N₂O emitida.

$$N_2O_{(G)} = 44/28 * (SF_NVol + MMS_NVol + AM_NVol + GR_NVol) * EF_4$$

N₂O_(G) – emissões indirectas de N₂O provenientes da deposição atmosférica do azoto que volatilizou sob a forma de NO_x e amónia

SF_NVol – volatilização total, como amónia e óxidos nitrosos, do azoto proveniente dos fertilizantes sintéticos aplicados ao solo (ton NH₃-N + NO_x-N/ano)

MMS_NVol – volatilização do azoto proveniente do estrume de um determinado Sistema de Gestão de Estrume (emissões durante o armazenamento interno e externo do estrume) (ton NH₃-N + NO_x-N/ano)

AM_NVol – volatilização do azoto proveniente do estrume aplicado ao solo como fertilizante (ton NH₃-N + NO_x-N/ano)

GR_NVol – volatilização do azoto proveniente das excreções animais e depositadas no solo durante o pastoreio (ton NH₃-N + NO_x-N/ano)

EF₄ – factor de emissão de N₂O das deposições atmosféricas do azoto no solo e em águas superficiais (kg N₂O-N/kg NH₃-N + NO_x-N)

$$N_2O_{(L)} = 44/28 * (N_{Fert} + N_{AM} + N_{GR}) * Frac_{LEACH} * EF_5$$

N₂O_(L) – emissões indirectas de N₂O provenientes do azoto que é removido dos solos agrícolas depois de ser aplicado como fertilizante, em resultado da lixiviação ou escoamento superficial (kg N₂O/ano)

N_{Fert} – quantidade de fertilizantes azotados aplicado ao solo (ton N/ano)

N_{AM} – quantidade de estrume azotado aplicado ao solo anualmente (ton N/ano)

N_{GR} – quantidade de azoto nas excreções animais depositado directamente no solo durante o pastoreio (ton N/ano)

Frac_{LEACH} – fracção do N aplicado que é perdido por lixiviação ou escorrimento superficial

EF₅ – factor de emissão de N₂O para a lixiviação e escorrimento superficial (kg N₂O/ kg NH₃-N + NO_x-N)

As variáveis a ter em conta nestes cálculo são:

- A quantidade de fertilizante sintético azotado aplicado ao solo;
- A quantidade de estrume de cada MMS aplicado ao solo como fertilizante;
- A quantidade de azoto depositado pelos animais durante o pastoreio.

Estas variáveis são calculadas da mesma forma que no ponto anterior mas agora tendo em consideração a fracção do azoto incorporado ao solo que volatiliza e que é lixiviado, sob a forma de NH₃ e NO_x.

Os factores de emissão utilizados (EF₄ e EF₅) são constantes e encontram-se tabelados pelo IPCC.

Quadro 18 – Factores de emissão para as emissões indirectas de N₂O dos solos agrícolas

Factor de emissão	kg N ₂ O/kg NH ₃ -N + NO _x -N
EF ₄	0,010
EF ₅	0,025

Fonte: APA, 2011

1.7. EMISSÕES PROVENIENTES DA QUEIMA DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS NO SOLO

O cálculo destas emissões é feito multiplicando a quantidade de biomassa de resíduos que é queimada no solo pelo factor de emissão.

$$\text{Emission}_{(p,crop,y)} = \text{EF}_{(p,crop)} * \text{Crop}_{\text{BURN}} (crop,y) * 10^{-3}$$

Emission_(p,crop,y) – emissões do poluente p provenientes da queima de resíduos de uma cultura específica no ano y (ton p/ano)

EF_(p,crop) – factor de emissão da queima dos resíduos agrícolas no campo de uma cultura específica (kg p/ton ms)

$Crop_{BURN (crop,y)}$ – biomassa do resíduo de uma determinada cultura que é queimada no campo, expresso em biomassa de matéria seca (ton ms/ano)

Para o cálculo da biomassa de resíduo que é queimado no terreno é necessário saber, para cada cultura produzida em Portugal, a quantidade de resíduo que é deixada no campo e qual a fracção desse resíduo que é queimado no solo.

$$Crop_{BURN (crop,y)} = Crop_{AREA(crop,y)} * Resid_{PROD (crop)} * Dm_{Content(crop)} * Frac_{RESBURN (crop)} * 10^{-7}$$

$Crop_{BURN (crop,y)}$ – quantidade de biomassa do resíduo da cultura no ano y, que é queimado no terreno (ton MS/ano)

$Crop_{AREA}$ – área ocupado pela cultura no ano y (ha/ano)

$Resid_{PROD (crop)}$ – quantidade de resíduo gerado por unidade de área cultivado pela cultura no ano y (kg/ha)

$Dm_{Content (crop)}$ – quantidade de matéria seca existente no resíduo da cultura (% MS/peso vivo)

$Frac_{RESBURN (crop)}$ – fracção total do resíduo de uma determinada cultura que é queimado no local (%)

Os parâmetros utilizados na determinação da quantidade de resíduo de uma determinada cultura queimado no terreno, expressos em toneladas de matéria seca por ano, foram os apresentados no quadro seguinte.

Quadro 19 – Parâmetros utilizados no cálculo da quantidade de resíduo da cultura queimado no terreno

Cultura	Resid _{PROD} (kg de peso vivo/ha)	DM _{Content} (%)
Arroz	3.900	85
Pomares	800	50
Vinha	2.500	50
Olival	375	50

Fonte: APA, 2011

Em Portugal considerou-se que apenas os resíduos do arroz, pomares, vinhas e olivais eram queimados no terreno, pois são as culturas com maior expressão no País. Para o arroz cerca de 32% dos resíduos são queimados no solo (fracção da área que não se encontra em produção ou protecção integrada), na vinha cerca de 40%, nos olivais

100% e nos restantes pomares cerca de 30%. Estes valores foram considerados para o ano 2009 em todos os cenários, mantendo-se estáveis para o Cenário Baixo e decrescendo no Cenário Médio e Alto de forma igual e progressiva até, em 2050, a queima dos resíduos ser nula para todas as culturas consideradas. No arroz foi considerado, em todos os cenários, que em 2020 toda a produção se encontrara em modo de produção integrado, sendo que a partir deste ano deixa de haver emissões resultantes da queima dos resíduos desta cultura no terreno.

Cálculo do Factor de Emissão (EF)

O factor de emissão varia consoante o tipo de gás emitido. De um modo geral é dependente da quantidade de carbono existente na matéria seca, da fracção de carbono que é oxidado durante a queima e a quantidade de carbono/azoto total que é emitida como poluente. No caso dos poluentes que contêm azoto é ainda necessário incluir o rácio que relaciona a quantidade de azoto existente em cada kg de C existente no resíduo da cultura.

Para poluentes contendo carbono o cálculo do EF é feito da seguinte forma:

$$EF_{(pol,crop)} = C_{Fraction (crop)} * Frac_{RESOXI (crop)} * ER_{(crop, pol)} * MWC_{(pol)}$$

Para poluentes contendo azoto o cálculo do EF é feito da seguinte forma:

$$EF_{(pol,crop)} = C_{Fraction (crop)} * Frac_{RESOXI (crop)} * NC_{Ratio (crop)} * ER_{(crop, pol)} * MWC_{(pol)}$$

$EF_{(pol, crop)}$ – factor de emissão para a queima de resíduos de uma determinada cultura no campo (kg/ton MS)

$C_{Fraction (crop)}$ – rácio conteúdo de carbono por matéria seca (kg C/kg MS)

$Frac_{RESOXI (crop)}$ – fracção de carbono que é oxidado durante o período activo da queima (kg C/kg C)

NC_{Ratio} – rácio azoto/carbono no resíduo da cultura (kg N/kg C)

$ER_{(crop, pol)}$ – fracção do carbono/azoto total que é emitido como poluente (kg C/kg C ou kg N/kg N)

$MWC_{(pol)}$ – fracção de correcção estequimétrica para converter emissões de unidades de carbono/azoto em emissões de do peso total molecular (kg/kg C ou kg/kg N)

Os parâmetros utilizados no cálculo dos factores de emissão foram os mesmos utilizados no PNIR 2011 pela APA, e encontram-se representados nos quadros seguintes.

Quadro 20 – Parâmetros utilizados no cálculo dos factores de emissão para as emissões da queima de resíduos das culturas no campo

Cultura	C _{Fraction}	Frac _{RESOXI}	NC _{Ratio}
Arroz	0,6	0,9	0,04
Pomares	0,6	0,9	0,05
Vinha	0,6	0,9	0,04
Olival	0,6	0,9	0,04

Fonte: APA, 2011

Quadro 21 – Rácios específicos para o poluente emitido, utilizados no cálculo dos factores de emissão para as emissões da queima de resíduos das culturas no campo

Poluente	ER	MWC
CH ₄	0,5	16/12
N ₂ O	0,7	44/28
CO	6,0	28/12
NO _x	12,1	46/14

Fonte: APA, 2011

1. LULUCF (USO DO SOLO, ALTERAÇÕES NO USO DO SOLO E FLORESTA)

Neste ponto iremos apresentar de forma detalhada a metodologia utilizada no cálculo destas emissões/captações, a mesmo usado pela APA no PNIR 2011, no que diz respeito às fórmulas utilizadas e aos parâmetros considerados.

1.1. ALTERAÇÕES NO STOCK DE CARBONO DA FLORESTA

O cálculo do stock de carbono é feito através da multiplicação da área pela taxa de carbono ganho menos a taxa de carbono perdido.

$$\Delta C = \sum_i [(C_i - C_{i-1}) A_i]$$

ΔC – alterações no stock de carbono (ton C/ano)

A_i – área (ha)

C_i – taxa de carbono consumido (ton C/ha.ano)

C_i – taxa de carbono perdido (ton C/ha.ano)

1.1.1. Alterações no stock de carbono da biomassa viva

No caso da floresta que se mantém floresta, a taxa de carbono ganho corresponde ao acréscimo anual da biomassa florestal convertido em quantidade de carbono, para cada tipo de povoamento.

A taxa de carbono perdido num determinado ano é igual a quantidade de biomassa colhida nesse ano convertido também em kg de carbono, através da fracção de carbono existente na matéria seca de cada povoamento florestal. Em Portugal, de um modo geral, apenas o eucalipto e o pinheiro bravo são cortados e colhidos para fins industriais.

$$C_i = \sum_j [A_j * AIR_j * BEF_j * (1 + RTS)_j * Cdm_j]$$

C_i – taxa de carbono ganho (ton C/ha.ano)

A_j – área ocupada com a floresta do tipo j

AIR_j – taxa de crescimento anual por tipo de floresta j (m^3 /ha.ano)

BEF_j – factor de expansão da biomassa por tipo de floresta (ton ms/ m^3)

RTS_j – rácio *root to shoot*, relaciona a parte aérea com a parte subterrânea da árvore, por tipo de floresta

Cdm_j – fracção de carbono existente na matéria seca

$$C_i = \sum_j [Harv_j * BEF_j * (1 + RTS)_j * Cdm_j]$$

C_i – taxa de carbono perdido (ton C/ha.ano)

$Harv_j$ – volume anual colhido por tipo de floresta j (m^3 /ano)

Os parâmetros utilizados nestes cálculos estão apresentados nos quadros seguintes.

Quadro 22 - Taxa de crescimento anual por tipo de floresta AIR (m³/ha.ano)

Povoamento Florestal	AIR
Pinheiro Bravo	5.6
Sobreiro	0.5
Eucalipto	9.5
Azinheira	0.5
Carvalho	2.9
Outras Folhosas	2.9
Pinheiro Manso	5.6
Outras Resinoas	5.0

Fonte: APA, 2011

Quadro 23 – BEF (ton ms/m³), 1+RTS e C_{dm}

Povoamento Florestal	BEF	1 + RTS	C _{dm}
Pinheiro Bravo	0.528	1.098	0.51
Sobreiro	1.100	1.430	0.48
Eucalipto	0.630	1.249	0.48
Azinheira	1.100	1.430	0.48
Carvalho	0.570	1.430	0.48
Outras Folhosas	0.570	1.430	0.48
Pinheiro Manso	1.166	1.054	0.51
Outras Resinosas	0.532	1.102	0.51

Fonte: APA, 2011

As mesmas fórmulas e os mesmos parâmetros são utilizados para o cálculo das captações da área convertida em floresta.

1.2. Alterações no stock de carbono da matéria orgânica morta (DOM)

Apenas a área convertida em floresta ou transições entre povoamentos florestais em 20 anos irão sofrer alterações ao nível do stock de carbono da matéria orgânica morta.

Para o cálculo desta rubrica importa saber o conteúdo médio de carbono existente na superfície do solo dos diferentes povoamentos e da superfície que lhes deu origem.

$$C_{DOM} = \sum_{LL \text{ ou } LUC} [A_{LL \text{ ou } LUC} * (C_{Lit,f} - C_{Lit,L})/20]$$

C_{DOM} – alterações no stock de carbono da matéria orgânica morta (Gg C)

A_{LL} ou LUC – área (ha)

$C_{Lit,L}$ – conteúdo inicial em carbono do *litter* (Gg C/ha)

$C_{Lit,f}$ – conteúdo final em carbono do *litter* (Gg C/ha)

Os valores referentes ao conteúdo de carbono do *litter* nos diferentes tipos de ocupação do solo utilizados foram os apresentados no quadro seguinte.

Quadro 24 – Stock de carbono médio do *litter* (ton C/ha)

		Ton C/ha
Floresta	Pinheiro Bravo	3
	Sobreiro	2
	Eucalipto	1
	Azinheira	2
	Carvalho	2
	Outras Folhosas	2
	Pinheiro Manso	2
	Outras Resinosas	4
Culturas Agrícolas	Culturas temporárias de sequeiro	0
	Culturas temporárias de regadio	0
	Arroz	0
	Vinha	0
	Olival	0
	Outras culturas permanentes	0
Pastagens	Pastagens	0
Águas Interiores	Águas interiores	0
Áreas Sociais	Áreas sociais	0
Outras	Matos	1
	Outros	0

Fonte: APA, 2011

1.3. Alterações no stock de carbono dos solos minerais (MS)

Assim como na rubrica anterior, para o cálculo das alterações no stock de carbono dos MS, interessa apenas conhecer a área que nos últimos anos sofreu alterações ao nível do tipo de povoamento (transições internas) ou que foi convertida em floresta, e o conteúdo em carbono do solo mineral ocupado com esse uso do solo.

$$C_{MS} = \sum_{LL} [A_{LL} * (C_{MS,f} - C_{MS,i})/20]$$

C_{MS} – alterações no stock de carbono nos solos orgânicos (Gg C)

A_{LL} ou LUC – área (ha)

$C_{MS,i}$ - conteúdo inicial em carbono no solo orgânico (Gg C/ha.ano)

$C_{MS,f}$ - conteúdo final em carbono no solo orgânico (Gg C/ha.ano)

Os valores referentes ao conteúdo de carbono nos solos orgânico nos diferentes tipos de ocupação do solo utilizados foram os apresentados no quadro seguinte.

Quadro 25 – Stock de carbono médio nos solos minerais (ton C/ha)

		Ton C/ha
Floresta	Pinheiro Bravo	116
	Sobreiro	54
	Eucalipto	68
	Azinhreira	58
	Carvalho	98
	Outras Folhosas	88
	Pinheiro Manso	38
	Outras Resinosas	77
Culturas Agrícolas	Culturas temporárias de sequeiro	38
	Culturas temporárias de regadio	54
	Arroz	54
	Vinha	40
	Olival	55
	Outras culturas permanentes	42
Pastagens	Pastagens	49
Águas Interiores	Águas interiores	0
Áreas Sociais	Áreas sociais	0
Outras	Matos	91
	Outros	38

Fonte: APA, 2011

2. Alterações no stock de carbono da área agrícola e pastagens

No caso do cálculo das alterações do stock de carbono da biomassa viva, as culturas com algum impacto são as culturas plurianuais. Para Portugal as culturas com maior interesse são a vinha, o olival e outros pomares. A metodologia de cálculo é semelhante à descrita para as florestas. Mas com parâmetros específicos para estas culturas.

Quadro 26 – AIR (ton C/ha.ano) e 1 + RTS

Povoamento Florestal	AIR	1 + RTS
Vinha	0.3	1.857
Olival	0.8	1.146
Outras culturas permanentes	0.9	1.176

Fonte: APA, 2011

No que diz respeito às alterações do stock de carbono da matéria orgânica morta (DOM), consideram-se desprezíveis, pois a existência desta matéria na cobertura do solo destas culturas é insignificante.

O cálculo das alterações no stock de carbono dos solos minerais (MS) é feito da mesma forma que para a floresta, mas utilizando parâmetros específicos para as culturas plurianuais mencionadas e para as pastagens, apresentados no Quadro 26.

Considerou-se ainda uma captação média de carbono dos solos ocupados pelas pastagens biodiversas e por terras onde se realiza sementeira directa, de 6.5 ton CO₂/ha.ano e 2.1 ton CO₂/ha.ano respectivamente.

3. Alterações no stock de carbono da restante área que ocupa o solo (áreas sociais, praias, dunas, águas internas, matos e outras)

Grande parte desta área é considerada insignificante em termos de alterações no stock de carbono, à excepção dos matos. No caso dos matos o cálculo é feito como nas rubricas anteriores mas utilizando factores específicos para este tipo de ocupação de solo.

Quadro 27 – AIR (ton C/ha.ano) e 1 + RTS

Povoamento Florestal	AIR	1 + RTS
Matos	0.8	2.000

Fonte: APA, 2011

4. Emissões provenientes da queima de biomassa

Os fogos florestais são a principal causa em Portugal do distúrbio das áreas florestais. As emissões provenientes da queima de biomassa incluem emissões directas e indirectas de CO₂, CH₄ e N₂O em consequência de incêndios nas áreas de floresta que permaneceram floresta e nas áreas convertidas em floresta.

Para o cálculo destas emissões é necessário saber:

- A área ardida em cada ano;
- O stock médio de C existente na biomassa acima do solo;
- A quantidade média de folhas na biomassa acima do solo;
- O factor de combustão das folhas;
- A quantidade média de pequenos troncos na biomassa acima do solo;

- O factor de combustão dos pequenos troncos;
- A percentagem de mortalidade em resultado do incêndio;
- A percentagem de madeira recuperada após um incêndio;
- Emissões directas de CO₂ provenientes do incêndio.

Emissões directas de CO₂:

$$CO_{2\text{fires,dir}} = A_{\text{burnt},j} * B_{\text{ABG},j} * (B_{\text{leafs},j} * BCF_{\text{leafs},j} + B_{\text{branches},j} * BCF_{\text{branches},j}) * 44/12$$

CO_{2fires,dir} - emissões directas de CO₂ proveniente dos incêndios (Gg CO₂eq)

A_{burnt,j} - area ardida (ha)

B_{ABG,j} - stock médio de C na biomassa acima do solo (Gg C/ha)

B_{leafs,j} - percentagem de biomassa das folhas na biomassa total acima do solo (%)

BCF_{leafs,j} - factor de combustão das folhas (%)

B_{branches,j} - percentagem da biomassa de pequenos troncos na biomassa total acima do solo (%)

BCF_{branches,j} - factor de combustão dos pequenos troncos (%)

44/12 - conversão de C em CO₂

Emissões indirectas de CO₂:

$$CO_{2\text{fires,ind}} = A_{\text{burnt},j} * B_{\text{ABG},j} * (M_{\text{fire}} * (1 - SW_j) * (1 + RTS_j) * 44/12 - CO_{2\text{fires,dir}})$$

CO_{2fires,ind} - emissões indirectas de CO₂ proveniente dos incêndios (Gg CO₂eq)

A_{burnt,j} - area ardida (ha)

B_{ABG,j} - stock médio de C na biomassa acima do solo (Gg C/ha)

RTS - rácio *root to shoot*

M_{fire} - mortalidade devido ao incêndio (%)

SW - percentagem de madeira recuperada no total da madeira (%)

CO_{2fires,dir} - emissões directas de CO₂ proveniente dos incêndios (Gg CO₂eq)

44/12 - conversão de C em CO₂

Emissões directas de CH₄ e N₂O

$$\text{CH}_{4\text{fires,dir}} \text{ ou } \text{N}_{2}\text{O}_{\text{fires,dir}} = A_{\text{burnt,j}} * B_{\text{ABG,j}} * (B_{\text{leafs,j}} * \text{BCF}_{\text{leafs,j}} + B_{\text{branches,j}} * \text{BCF}_{\text{branches,j}}) * \text{EF} * \text{CFC} * \text{GWP}$$

CH_{4fires,dir} ou N₂O_{fires,dir} - emissões directas de CO₂ provenientes dos incêndios (Gg CO₂eq)

EF - percentagem de carbono perdido ou azoto (%)

CFC - factor de conversão de C para o gás (%)

GWP - Potencial de aquecimento global

Os parâmetros utilizados nestes cálculos foram os seguinte:

Quadro 28 - B_{ABG} (ton C/ha.ano), B_{leafs} (%), BCF_{leafs} (%), B_{branches} (%) e BCF_{branches} (%)

	B _{ABG}	B _{leafs}	BCF _{leafs}	B _{branches}	BCF _{branches}
Pinheiro Bravo	27.9	7	11		
Sobreiro	18.8	1	2		
Eucalipto	16.6	9	7		
Azinheira	11.5	1	2	88	58
Carvalho	11.0	8	20		
Outras Folhosas	15.9	8	20		
Pinheiro Manso	24.8	5	8		
Outras Resinosas	8.4	8	8		

Fonte: APA, 2011 12

Quadro 29 - M_{fire} (%) e SW (%)

	M _{fire}	SW
Pinheiro Bravo	70	40
Sobreiro	30	40
Eucalipto	50	50
Azinheira	10	40
Carvalho	30	40
Outras Folhosas	30	40
Pinheiro Manso	30	40
Outras Resinosas	70	40

Fonte: APA, 2011

Quadro 30 – EF (%), CFC e GWP

	EF	CFC	GWP
CH4	1.2%	1.3	21
N2O	0.7%	3.1	310

Fonte: APA, 2011

NOTA: Por não existirem conversões em terras agrícolas, não foram calculadas as emissões de N₂O resultantes do distúrbio associado à conversão de terras agrícolas.

Bibliografia

- Agência Portuguesa do Ambiente, (2011). *Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases, 1990-2009*. Amadora.
- IPCC, (2000). *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. Chapter 4.
- IPCC, (1996). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual*. Chapter 4 and 5.
- IPCC, (1996). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook*. Chapter 4 and 5.
- IPCC (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*.