

Efficacité énergétique et émissions de GES de systèmes d'élevage bovin viande en Amazonie

CLERC A.S. (1), BONAUDO T. (1), NAHUM B. (2), DIAS DE CASTRO R. (2), POCCARD-CHAPUIS R. (3)

(1) AgroParisTech, UMR 1048 SAD-APT, 16 rue Claude Bernard, F-75231 Paris, France

(2) Embrapa Amazônia Oriental, Tv Enéas Pinheiro s/n, Belém, Pa, CEP 66095-100 7, Brésil

(3) CIRAD, UMR 0868 SELMET, Embrapa Amazônia Oriental, Tv Enéas Pinheiro s/n, Belém, Pa, CEP 66095-100 7, Brésil

RESUME

L'élevage au Brésil, 1^{er} exportateur mondial de viande, serait responsable de plus de 75% des déforestations et 19% des émissions nationales de gaz à effet de serre (GES). L'objectif de notre étude est de mettre au point une première méthode de calcul d'efficacité énergétique et d'émissions de GES des systèmes d'élevage amazoniens, en se basant sur la méthode Planète. Une révision de l'ensemble des coefficients énergétiques et des facteurs d'émission de GES ainsi que l'ajout de certaines rubriques ont permis d'élaborer un logiciel de calcul adapté au contexte régional. Six systèmes d'élevage bovin allaitants ont été étudiés lors d'enquêtes directes : un naisseur, trois engraisseurs et deux naisseurs-engraisseurs avec des troupeaux compris entre 650 et 3700 têtes, des charges instantanées variables, liées à des gestions de pâturage et des pratiques alimentaires très diversifiées. Les consommations d'énergie sont en moyenne de 9 724 MJ/t poids vif/an (min=4 019 MJ/t, max=15 243 MJ/t). Les principaux postes, responsables de 56% à 93% des consommations d'énergie, sont les achats d'aliments, la fertilisation des pâturages et l'achat de carburant (et d'animaux pour les engraisseurs). Ces systèmes d'élevage basés sur des ressources herbagères abondantes, utilisant peu d'intrants et d'infrastructures sont peu consommateurs d'énergie, comparés aux autres systèmes dans le monde. Les différences d'efficacité énergétique sont liées à l'efficacité productive végétale et animale et non au degré d'intensité d'utilisation des intrants. Les émissions de GES sont importantes, en moyenne de 19,8 t eq CO₂/ t poids vif/ an (min= 11,2 t eq CO₂/t, max= 40,5 t eq CO₂/t). La déforestation avec un amortissement linéaire sur 20 ans représente de zéro jusqu'à 75% des émissions totales. Nous avons aussi montré l'intérêt environnemental de systèmes productifs intégrant agriculture et élevage. Ces résultats à l'échelle des exploitations participent de la prise de conscience individuelle des éleveurs et renforcent les engagements locaux pour la « *déforestation zéro* ». La comparaison avec d'autres systèmes d'élevage dans le monde souligne l'intérêt d'une production animale maîtrisée, en matière de déforestation et d'intensification, sous les tropiques humides. Plus largement cette étude montre la validité de cette méthode et devrait permettre de généraliser ces bilans.

Energetic efficiency and greenhouse gas emissions of beef cattle production in the Amazon

CLERC A.S. (1), BONAUDO T. (1), NAHUM B. (2), DIAS DE CASTRO R. (2), POCCARD-CHAPUIS R. (3)

(1) AgroParisTech, UMR 1048 SAD-APT, 16 rue Claude Bernard, F-75231 Paris, France

SUMMARY

Livestock production in Brazil, the world leader in meat export, accounts for 19% of national greenhouse gas (GHG) emissions and is said to be responsible for more than 75% of deforested areas. The objective of our study was to implement the first method to assess energetic efficiency and GHG emissions of livestock systems in the Amazon, based on the Planète method. A software program adapted to this region was created by complete revision of all energetic coefficients and emissions factors, and addition of some categories. Six beef cattle farms were studied using direct interviews: one cow-calf, 3 growing-fattening and 2 complete cycle systems, with herds from 650 to 3700 heads, variable pasture charges, leading to different pasture management and feed strategies. The average energy use is 9 724 MJ/t live weight/year (min=4 020 MJ/t, max=15 243 MJ/t). This is principally due to feed expenditures, pasture fertilization, fuel (and animals for growing-fattening), accounting for 56% to 93% of total energy consumption. Based on abundant grazing resources, low level of input and facilities, these livestock systems are low energy consumers compared to other systems in the world. Differences in energy efficiency do not come from the degree of intensity of input use, but from the efficiency of animal and plant production. GHG emissions are high, on average 19.8 t CO₂ eq/t live weight/yr (min= 11.2 t eq CO₂/t; max= 40.5 t eq CO₂/t). The deforestation, linearly amortized over 20 years, accounts for 0 to 75% of total emissions. We also showed the environmental benefit of some plant-livestock integrations in the production systems. These results, at the property scale, have a role in raising farmers' awareness as well as local commitments for « zero deforestation ». The comparison with results from other continents emphasizes the advantage of a controlled animal production in the wet tropics, concerning deforestation and intensification. More broadly, this study shows the validity of the method and should permit a general implementation of these balances.

INTRODUCTION

Aujourd'hui, les productions animales doivent répondre à une demande mondiale en forte croissance tout en diminuant leurs impacts environnementaux, notamment concernant le changement climatique. Pour le Brésil, 1^{er} exportateur

mondial de viande, l'élevage représenterait 19% des émissions nationales de GES, auquel il faut ajouter une large part des 57% de GES attribués au changement d'utilisation des sols : l'élevage serait responsable de plus de 75% des déforestations d'Amazonie brésilienne. Cette activité dans cette région est donc en première ligne pour permettre au

Brésil de respecter ses engagements de réduction de GES de 36 à 39% d'ici 2020. La filière bovine doit se mobiliser pour réduire ses impacts environnementaux en Amazonie et améliorer ainsi l'image de ses produits. Peu de données sont disponibles pour estimer l'efficacité énergétique et les émissions de GES des systèmes de production Amazoniens. L'objectif de notre étude était alors de mettre au point la première méthode de calcul.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. METHODE UTILISEE ET ADAPTATION AU CONTEXTE AMAZONIEN

La méthodologie utilisée pour calculer les bilans d'énergie et de GES s'inspire de la méthode Planète (2002), actualisée par les documents Ges'tim (Gac *et al.*, 2010) et Dia'Terre (Ademe, 2011). Elle repose sur le principe de l'analyse de cycle de vie, s'arrêtant aux « portes de la ferme » : sont prises en compte en entrée les consommations et émissions directes et indirectes de tous les intrants utilisés par le processus de production, (depuis leur fabrication à partir de matières premières), et en sortie les produits animaux et végétaux issus du système, sans prendre en compte leur devenir. Deux indicateurs énergétiques sont calculés : le bilan par différence entre sorties et entrées, et l'efficacité qui correspond au rapport sorties sur entrées. Pour les GES, seules les émissions directes et indirectes ont été calculées, sans prise en compte de puits éventuels de carbone.

L'adaptation de la méthode et des coefficients énergétiques aux pratiques, intrants et itinéraires techniques spécifiques à l'Amazonie a été essentielle. Pour cela, une révision bibliographique exhaustive a été réalisée (Sousa *et al.*, 2010 ; Barros Soares *et al.*, 2005 ; Gazzioni *et al.*, 2006 ; Romanelli et Milan, 2005 ; Coltro *et al.*, 2003). Les facteurs d'émissions entériques utilisés sont issus d'études de cas principalement du sud du Brésil (Lima *et al.*, 2007 ; Primavesi *et al.*, 2007 ; Pereira Braz *et al.*, 2002). Les émissions directes de N₂O par les sols tropicaux ont été estimées grâce à la littérature existante dans les régions tropicales du monde entier. En l'absence de coefficients ou facteurs d'émissions brésiliens ou de zones tropicales, les valeurs internationales des études Ges'tim (2010) et Dia'terre (2011) ont été utilisées. Pour les consommations énergétiques et les émissions indirectes, toutes les étapes de transport (de l'extraction des matières premières à l'arrivée de l'intrant à la ferme) ont été ajoutées aux valeurs de base trouvées dans la littérature. Les origines des divers intrants ont été obtenues par enquêtes auprès des fournisseurs de la zone d'étude et de la bibliographie.

Certaines rubriques ont été ajoutées dans les bilans par rapport à Planète (2002), notamment l'émission de GES par l'utilisation du feu pour déboiser ou entretenir le pâturage. Dans ce cas, la méthodologie simplifiée « Tier 1 » de l'IPCC (2006) a été appliquée, en utilisant des coefficients et données spécifiques à l'Amazonie (Fearnside, 1997). Ainsi, le déstockage de CO₂, la première année par la biomasse aérienne et la litière, a été estimé à 179 t CO₂/ha, pour une forêt tropicale primaire (290 tMS/ha dont 39 % brûlé) et à 12,2 t CO₂/ha pour un couvert herbacé (rendement 8 tMS/ha dont 94,6% brûlé).

Les émissions dues à l'utilisation du feu ont été amorties sur 20 ans pour le déboisement (d'après IPCC 2006) et fonction du rythme de mise à feu pour les pâturages. Les mécanismes de déstockage de CO₂ par la biomasse souterraine lors du déboisement et de stockage sous les prairies n'ont pas été pris en compte en raison de leur complexité, de leur grande variabilité et de l'absence de références dans notre zone d'étude. Pour l'allocation entre les différents produits et coproduits nous avons choisi une allocation économique (cultures de rente/ viande). Ce choix a été fait car les systèmes de production étudiés ont une vocation commerciale, de plus cette allocation nous permet de comparer nos résultats avec d'autres terrains du projet EPAD et un grand nombre de références bibliographiques.

1.2. MISE EN PRATIQUE DANS DES EXPLOITATIONS AMAZONIENNES

Six exploitations bovin viande ont été étudiées dans la région de Paragominas (Etat du Pará, Amazonie). Ces propriétés sont représentatives de la diversité des orientations productives (1 naisseur, 3 engraisseurs, 2 naisseurs engraisseurs) et des degrés d'intensité rencontrés dans la région (chargement animal, utilisation d'engrais et de pesticides, gestion du pâturage, complémentation à base de concentrés, ...). De plus, ces exploitations sont engagées volontairement dans un programme de bonnes pratiques agricoles, permettant un accès à des données chiffrées. Les enquêtes ont été réalisées en passant une semaine dans chaque propriété, pour identifier finement les itinéraires techniques, les intrants et les produits de la ferme. Cette période a aussi permis l'observation des activités journalières et des discussions avec divers acteurs de la production (propriétaire, gérant, vachers, ...).

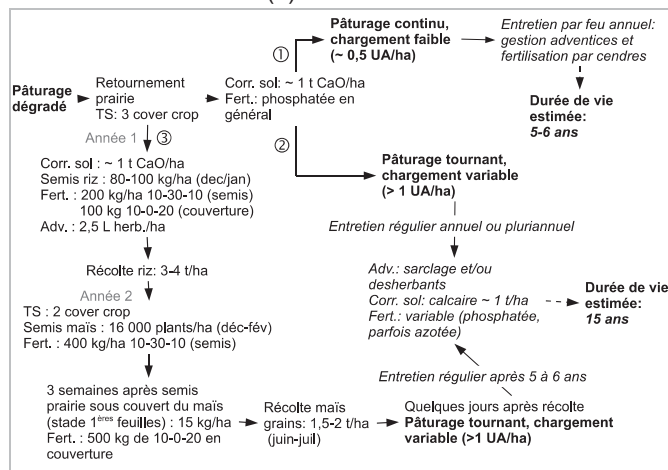
2. RESULTATS

2.1. LES SYSTEMES DE PRODUCTION ENQUETES

Les surfaces agricoles ont toutes été établies par des déboisements successifs plus ou moins récents. Les bovins sont conduits avec des systèmes de pâturage tournant avec des chargements relativement faible et sur des surfaces importantes. Malgré une utilisation d'intrants et des infrastructures limitées (corral et petit hangar) les propriétés se sont inscrites dans une dynamique d'intensification. L'amélioration de la productivité de la terre et du travail, passe par l'augmentation progressive des chargements instantanés et des rythmes de rotations permis par la fertilisation minérale et des traitements phytosanitaires réguliers contre les adventices. Certains éleveurs distribuent aussi des concentrés en saison sèche pour palier au déficit fourragère. Les principales caractéristiques structurelles, techniques ainsi que quelques résultats de performance sont présentés dans le Tableau 1.

E1 est ainsi la propriété la plus « intensifiée » et E2 et E3 sont les plus extensives, avec des quantités d'intrants très différentes (Tableau 1). La dégradation de la production fourragère est le problème majeur des systèmes d'élevage amazoniens. La Figure 1 présente les trois principaux itinéraires techniques de réforme des pâturages, le 1^{er} étant le système « traditionnel » encore largement appliqué aujourd'hui, le 2^{ème} est celui le plus rencontré dans les propriétés étudiées et le 3^{ème} correspond à un type d'intégration cultures-élevage, seulement rencontré pour la propriété N.

Figure 1 : Itinéraires techniques simplifiés de trois types de réformes des pâturages : traditionnelle (1), classique (2), avec cultures annuelles (3).



2.2 RESULTATS ENERGETIQUES

Les consommations énergétiques par poste (Figure 2), ainsi que les bilans et efficacités énergétiques (Tableau 2) sont très variables entre les propriétés. Les principaux postes de consommation correspondant de 56 à 95% des consommations totales d'énergie sont les achats d'engrais et d'aliments, les produits pétroliers, et l'achat d'animaux pour les naisseurs. Quatre grands types de situations sont distingués. N et E1 ont un bilan énergétique très positif avec une maximisation des sorties liée à l'utilisation importante d'intrants. E2 et E3 ont un bilan positif mais beaucoup plus

faible avec des sorties moindres associées à une minimisation des intrants. NE2 a un bilan presque équilibré lié à de faibles sorties en raison du type d'activité (amélioration génétique) et de faibles entrées en raison d'une fertilisation à faible dose tous les 5 à 8 ans. NE1 a un bilan négatif lié à l'achat d'aliments toute l'année, et une réforme des pâturages récente entraînant de fortes consommations de carburants et engrais. L'efficacité des intrants est faible en termes de production de viande.

Tableau 1 : Caractéristiques et indicateurs technico-économiques des 6 exploitations en bovin-viande enquêtées

Type de système	NAISSEUR	ENGRAISSEURS			NAISSEURS-ENGRAISSEURS	
Nom	N	E1	E2	E3	NE1	NE2
Surface totale (ha)	1 090	4 345	3 410	6 110	5 163	1 397
Proportion en forêt (%)	45	78	52	64	45	39
Surface en pâturages (ha)	523	736	1 630	2 220	2 672	852
Autres productions	Riz et maïs pour réforme	Foin - canne à sucre - Sylviculture	-	-	Canne à sucre	Sylviculture
Cheptel total (têtes)	Sèche	1100 (500 mères)	1 300	2 000	3 700 (600 mères)	650 (300 mères)
	Humide		2 000	2 400		
Stratégie gestion saison sèche	Chargement faible toute l'année (Projet confinement)	Diminution effectif, et/ou complémentation (Projet confinement)	Diminution effectif et complémentation	Diminution effectif et complémentation	Confinement avec canne à sucre	Chargement faible toute l'année
Fertilisation minérale des pâturages	Pas fertilisation spécifique (Arrières effets des cultures riz et maïs)	Annuelle	Ponctuelle suivant besoins	Réforme classique récente	Réforme classique récente, puis fertilisation tous les 5-8 ans	Tous les 5 ans
Contrôle des adventices	Sarclage Manuel	Herbicides tous les ans	Herbicides selon besoins	Herbicides selon ressources financières	Herbicides selon besoins	Herbicides tous 2-3 ans
Charg. animal annuel moyen (têtes/ha/an) ¹	1,24	2,33	1,35	1,10	1,38	0,76
Complémentation	Animaux	Aucune	Finition ²	Finition ²	Finition ²	Tous sauf vaches
	Période		Saison sèche	Saison sèche	Année	Année
	Ration		concentrés ³	concentrés ³	concentrés ³	concentrés ³
Poids sevrage (kg)	200-250	-	-	-	200-230	200
Poids moyen abattage (kg)	-	545	585	530	540	-
Age abattage (mois)	-	24-36	24-36	24-36	24-36	-
Prod. moyenne /ha/an (kg eq. carcasse)	-	458	215	144	146	-

¹ Chargement moyen calculé sur l'année et sur la surface totale de pâturage. ² Animaux en fin d'engraissement, de poids vif supérieur à 430-450 kg. ³ En général maïs grains et/ou soja grains et/ou tourteaux (soja, palmier à huile)

Figure 2 : Consommations énergétiques annuelles par poste et par tonne de poids vif produit

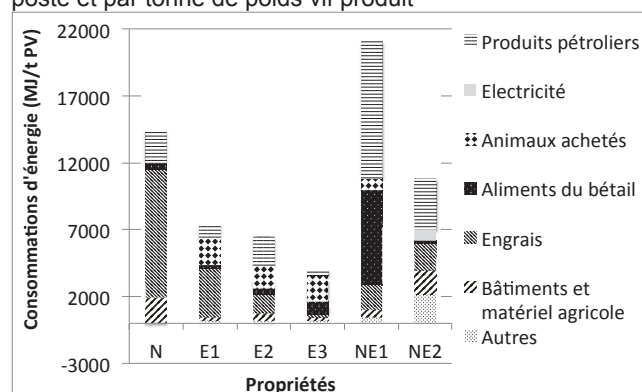


Tableau 2 : Bilan et efficacité énergétique des propriétés

	N	E1	E2	E3	NE1	NE2
Bilan (GJ/t PV)	35,5	12,3	6,9	9,4	-7,3	3,5
Eff. énergétique	3,48	2,66	2,07	3,33	0,65	1,32

L'efficacité énergétique (Tableau 2) n'est pas liée à l'intensivité du système mais à l'efficacité productive végétale et animale, comme le montrent N et E3 d'efficacité énergétique maximale mais dont les stratégies

de réforme et d'intensité d'utilisation du pâturage sont différentes (chargement, rythme de rotation).

Nous avons également étudié l'intérêt énergétique de quelques techniques d'intégration cultures-élevage qui commencent à se développer dans la région : la réforme des pâturages avec cultures annuelles (Figure 1, basé sur la propriété N), et la production de foin sur des espaces inutilisés (couloirs de circulation des animaux, surfaces entre les plantations d'arbre, basé sur la propriété E1).

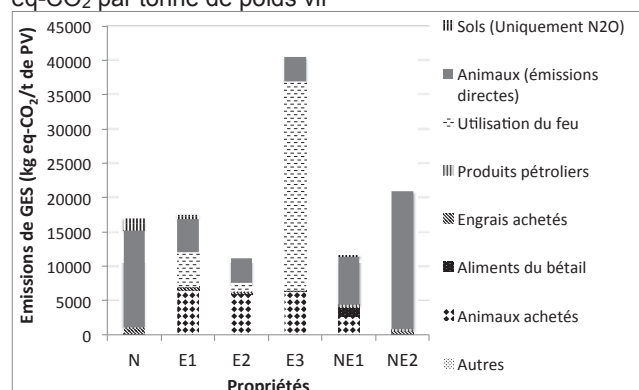
La production de foin entraîne un bilan énergétique plus élevé (le double, avec seulement 10 ha de foin produit) avec des consommations équivalentes, la vente permettant de plus de diversifier les revenus. Dans le cas de la réforme de pâturage intégrant un ou plusieurs cycles de cultures annuelles, bien que les consommations d'intrants et énergies fossiles soient beaucoup plus élevées, le bilan reste très favorable (le triple de la réforme classique) du fait de l'efficacité énergétique des sorties végétales et des arrières effets des intrants sur la production fourragère, et donc de viande en sortie.

2.3 EMISSIONS DE GES

Les émissions de GES (Tableau 3 et Figure 3) sont aussi très variables d'une propriété à l'autre. Les principaux postes d'émissions sont l'utilisation du feu pour déforester

et les émissions entériques des animaux. Le brûlage de la forêt pour l'implantation de nouveaux pâturages participe de 11% (propriété E2) à 75% (propriété E3) des émissions totales pour les fermes concernées. Ces émissions sont comptabilisées pour les parcelles déforestées depuis moins de 20 ans d'après la méthodologie IPCC Tier 1.

Figure 3 : Emissions annuelles de GES par poste, en kg eq-CO₂/t de poids vif



Le CO₂ correspond de 22 à 85% des émissions directes totales pour les propriétés utilisant le feu (E1, E2, E3) et seulement 1 à 4 % pour les autres (Tableau 3).

Tableau 3 : Emissions directes (animales, fertilisation, feu et carburants) annuelles par gaz en kg eq-CO₂/t de poids vif

Propriété	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
N	192	11801	6898	18892
E1	4548	4120	2208	10876
E2	1242	3054	1392	5688
E3	26650	3547	1325	31523
NE1	368	5981	2758	9106
NE2	302	17130	3004	20437

3. DISCUSSION

Notre étude montre que ces systèmes d'élevage sont efficaces au niveau énergétique, les consommations étant 3 à 7 fois moindres que dans des études réalisées dans le monde pour des systèmes bovin viande diversifiés en France (moyenne nationale, Bordet *et al.*, 2010), aux USA (systèmes feedlot et/ou herbagé, Pelletier *et al.*, 2010), au Japon (système feedlot, Ogino *et al.*, 2004) ou au Royaume-Uni (systèmes conventionnel et biologique, Williams *et al.*, 2006). Ils reposent sur des surfaces herbagères étendues de graminées très productives (genres *Brachiaria* et *Panicum*), avec de faibles niveaux d'intrants et peu de matériel et d'infrastructures. Les animaux sont de la race zébuine Nelore, adaptée aux conditions tropicales (chaleur, maladies, parasites) et parfois améliorée par croisement avec des races taurines apportant précocité et croissance rapide.

Les émissions de GES sont intermédiaires à très fortes avec une forte participation du CO₂ comparées aux précédentes études, si la déforestation est prise en compte. Nos chiffres montrent donc l'importance d'arrêter la déforestation, pour la préservation de l'environnement mais aussi pour l'image des produits amazoniens.

Cependant, le choix des allocations et amortissements (notamment pour la déforestation) est un point très important qui peut changer les résultats. De nombreuses études d'analyse de cycle de vie ont été réalisées dans le monde, mais elles spécifient rarement les coefficients utilisés, les choix d'allocation, d'amortissement et les limites du système étudié. Ces choix d'allocation peuvent pourtant influencer très fortement les résultats, surtout dans le cas d'associations cultures de vente et élevage

(Veysset *et al.*, 2010). Il faut donc être prudent en comparant les résultats.

CONCLUSION

Il existe un important manque de données sur les systèmes d'élevage en milieux tropicaux. Or ces systèmes sont très diversifiés et représentent une grande part des possibilités d'augmentation de la production mondiale de viande pour nourrir une population croissante et de plus en plus tournée vers une alimentation protéinée. Notre travail a permis d'établir une des premières méthodes d'évaluation environnementale en terme de bilans d'énergie et de GES en région tropicale et d'autres études devraient être conduites, en particulier pour mesurer les séquestrations de GES et pas seulement les émissions.

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Agence Nationale de la Recherche dans le cadre du programme SYSTERRA, portant la référence ANR-09-STRA-01. Les auteurs remercient le personnel de l'Embrapa à Belém pour le soutien organisationnel et technique.

ADEME, 2011. Guide des valeurs Dia'Terre.

Bordet A.-C., Bochu J.-L., Touchemoulin O., 2010. In Solagro, Références PLANETE 2010, Fiche 10. Toulouse.

Braga Do Carmo J., De Andrade C.A., Cerri C.C., Piccolo M. 2005. R. Bras. Ci. Solo n° 29 p.735-746

Coltro L., Garcia E.C., Queiroz G. 2003. Int. J. of LCA vol. 8, n°5, pp. 291-296

Gac A., Deltour L., Cariolle M., Espagnol S., Flenet F., Guingand N., Lagadec S., Le Gall A., Lellahi A., Malaval C., Pochant P., Tailleur A., 2010. GES'TIM.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2006. In FAO, Livestock's Long Shadow environmental issues and options, Rome, pp. 3-6.

Fearnside P.M., 1997. Climatic Change vol. 35, pp. 321-360

Garcia-Montiel D.C., Steudler P. A., Piccolo M., Neill C., Melillo J., Cerri C.C. 2003., Biogeochemistry n° 64, p 319-336

Gazzoni Decio L., Felici Paulo H.N., Coronato M.E.S. 2006. 1° Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel, Brasília.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006. IPCC, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, chapitre 2, pp. 40-43

Lima M.A. 2007. In Ministerio da Ciência e tecnologia Plano plurianual de governo - PPA Programa mudanças climáticas.

Ogino A., Kaku K., Osada T., Shimada K. 2004. Journal of animal science n°82 pp. 2115-2122

Pedreira M., Lima M.A., Berchielli T.T., Barbosa P.F. 2004. Pesq. Agropec. Bras., v.39, n.3, p.277-283

Pereira Braz S., Do Nascimento Junior D., Bertola Cantarutti R., Regazzi A.J., Martins C. E., De Fonseca D.M., Barbosa R.A. 2002. Revista Brasileira de Zootecnia, vol. 32, n°2, pp. 858-865

Pelletier N., Pirog R., Rasmussen R. 2010. Agricultural Systems n°103 pp. 380-389

PLANETE, 2002. Méthode pour l'analyse énergétique de l'exploitation agricole et l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre.

Primavesi O., Toyoko R., Frighetto S., Dos Santos

Romanelli T.L., Milan M. 2005 Sci. Agric., v.62, n.1, p.1-7

Souza S.P., Pacca S., De Avila M.T., Borges J.L.B., 2010, Renewable Energy n°5 pp. 2552-2561

P. Veysset P., Lherm M., Bébin D. 2010. Agricultural Systems 103 (2010) 41-50

Williams A.G., Audsley E., Sandars D.L. 2006. Main report. Defra Research Project ISO205. Bedford: Cranfield University and Defra.