

Relations entre les caractéristiques agronomiques, nutritionnelles et mycotoxicologiques de différents hybrides de maïs

Paulo Alberto LOVATTO (1), Carlos Augusto MALLMANN (1) Márcio CECCANTINI (2), Luciano HAUSCHILD (1), Lindolfo STORCK (1), Paulo DILKIN (1)

(1) Université Fédérale de Santa Maria, Départements de Zootechnie, Médecine Vétérinaire et Statistique Appliquée, Campus Camobi, Santa Maria, RS, 97119-900, Brésil

(2) Adisseo Brasil Ltda, Av. Maria Coelho Aguiar, 215 Bloco G - 1° andar, Jardim São Luis, 05804-900 Sao Paulo - Brésil

lovatto@smail.ufsm.br

avec la collaboration technique de Washington Neves (2)

Relations entre les caractéristiques agronomiques, nutritionnelles et mycotoxicologiques de différents hybrides de maïs

Un travail a été réalisé afin d'étudier les interactions entre les aspects agronomiques, nutritionnels et mycotoxicologiques de différents hybrides de maïs cultivés au Brésil. Au total 42 hybrides (simple, double et triple) avec trois répétitions pour chacun ont été utilisés. Les variables étudiées concernaient la plante, la composition nutritionnelle des grains (matière azotée et acides aminés) et la présence de mycotoxines (aflatoxines B1, B2, G1 et G2 ; zéaralenone et ergostérol). Les résultats révèlent que les caractéristiques agronomiques et nutritionnelles sont influencées ($P < 0,05$) par l'hybride. Pour les mycotoxines, l'effet de l'hybride n'est significatif ($P < 0,05$) que pour l'aflatoxine G2. Il existe de nombreuses corrélations significatives ($P < 0,05$) entre les paramètres agronomiques et les teneurs en matières azotées, méthionine, acides aminés soufrés, thréonine, isoleucine, valine, leucine, phénylalanine, histidine et arginine. Aucune corrélation significative ($P > 0,05$) n'est observée entre les caractéristiques nutritionnelles et la présence des aflatoxines B1, B2, G2 ou de zéaralenone. Par contre, la présence d'aflatoxine G1 est positivement corrélée ($P < 0,05$) avec tous les acides aminés, sauf le tryptophane. La contamination du maïs avec l'ergostérol est positivement corrélée ($P < 0,05$) avec les teneurs en lysine, acides aminés soufrés et tryptophane. Les résultats obtenus permettent de conclure que les caractéristiques agronomiques, nutritionnelles et mycotoxicologiques sont influencées par l'hybride de maïs. Néanmoins, les caractéristiques agronomiques affectent davantage la composition nutritionnelle que les caractéristiques mycotoxicologiques. Par ailleurs, la présence de mycotoxines dans le maïs peut modifier leur composition nutritionnelle.

Interactions between agronomic, nutritional and mycotoxilogic aspects in different corn hybrids

This work was carried out to evaluate the interactions between agronomic, nutritional and mycotoxilogical characteristics in different corn hybrids produced in Brazil. Forty two hybrids (simple, double and triple) with three replicates were used. Plant characteristics, protein profile (crude protein and amino acids) and mycotoxins (aflatoxins B1, B2, G1 and G2; zearalenone and ergosterol) were evaluated in corn grains. The results show that hybrids influence significantly ($P < 0.05$) agronomic and nutritional characteristics. Only aflatoxin G2 was significantly ($P < 0.05$) influenced by the hybrids. There are some significant correlations ($P < 0.05$) between agronomic characteristics, crude protein, methionine, sulfur amino acids, threonine, valine, isoleucine, leucine, phenylalanine, histidine and arginine. There were no significant ($P > 0.05$) correlations between nutritional characteristics and aflatoxins B1, G1, G2 and zearalenone. However, the aflatoxin G1 has a positive correlation ($P < 0.05$) with all amino acids, except tryptophan. The ergosterol has a positive correlation ($P < 0.05$) with lysine, sulfur amino acids and tryptophan. The hybrids have a significant influence on agronomic, nutritional and mycotoxilogical characteristics. But agronomic characteristics have more influence on nutritional composition than mycotoxilogical ones. However, the presence of certain mycotoxins can change the nutritional composition of the corn grains.

INTRODUCTION

Le Brésil produit annuellement autour de 40 millions de tonnes de maïs, principalement dans le Sud (43 %), le Sud-est (26 %) et le Centre Ouest (20 %) (Agrarianal, 2005). Chaque région géographique possède des caractéristiques pédo-climatiques particulières qui déterminent une diversité importante de systèmes de production du maïs. La composition chimique du maïs peut varier en fonction de la variété, du sol et des conditions climatiques (Cromwell et al., 1999), ce qui peut influencer les caractéristiques nutritionnelles des grains (O'quinn et al., 2000) et les performances des animaux.

Selon des données du LAMIC (Lamic, 2005), 57,5 % des échantillons de maïs (n=30506) analysés entre 1986 et 2005 étaient contaminés par des mycotoxines. Pour les aflatoxines, 48,7 % des échantillons étaient positifs et la teneur moyenne s'élevait à 12,2 ppb. Pour la zéaralénone (n=27702), 5,8 % des échantillons étaient positifs avec 15,5 ppb de contamination moyenne. Pour ces mêmes échantillons, la concentration moyenne en ergostérol était de 157 ppm.

Sur la production totale de maïs au Brésil, 58 % sont utilisés pour les porcs et les poulets qui consomment 80 % de la production nationale d'aliment du bétail (Sindirações, 2005). Dans le cadre géographique Brésilien, il est possible d'identifier les régions où la contamination du maïs par des mycotoxines est plus élevée. Il est en effet important de pouvoir qualifier et mesurer les mycotoxines dans les ingrédients destinés à l'alimentation animale, afin d'aider le nutritionniste à formuler correctement les aliments. Dans le cas des aflatoxines, une contamination supérieure à 20 ppb réduit le gain de poids et dégrade l'efficacité alimentaire des porcs et des poulets (Lamic, 2005). De même, une contamination du maïs par la zéaralénone au delà de 1,8 ppm affecte négativement les performances reproductives de truies et la présence de fumonisine au-dessus de 0,1 ppm dans l'aliment réduit la croissance des porcs et des poulets (D'Mello et al., 1999).

Face à la variation de la composition chimique des différents hybrides de maïs, leurs risques de contamination par des mycotoxines et leurs effets sur les performances des animaux, en particulier des porcs et des volailles, ce travail avait pour objectif d'étudier les relations entre les composantes agronomiques, les caractéristiques nutritionnelles et mycotoxiques de différents hybrides de maïs cultivés au Brésil.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1.1. Obtention des échantillons

L'expérience a été conduite dans le Département de Phytotechnie de l'Université Fédérale de Santa Maria (29° 37' 04'' latitude Sud et 54° 10' 04'' longitude Ouest), RS, au cours de l'année agricole 2004/2005. Le maïs a été cultivé sur des sols appartenant à l'unité Brunizem Hydromorphe. Quarante deux variétés hybrides (simple, double et triple) de maïs ont été semées en trois

répétitions, sur des portions de deux lignes de 5 m, selon un schéma expérimental en blocs complets. Les apports d'engrais et le semis ont été réalisés en octobre 2004. Les niveaux de fertilisation, l'irrigation, le désherbage et les traitements phytosanitaires ont suivi les recommandations habituelles pour un développement adéquat des plantes. Les dates du fleurissement ont été notées pour calculer la durée de la culture et le nombre (par m²) et la taille des plantes et des épis. La récolte des épis a été réalisée avec un taux d'humidité d'environ 23 % ; les épis ont été battus et les grains ont été séchés dans une étuve à 56°C pendant 72 heures.

1.1.1. Analyses chimiques

Après l'arrivée au laboratoire les échantillons ont été identifiés puis broyés avec une grille de 0,1 mm de diamètre et 50g ont été prélevés pour l'analyse de la matière sèche (AOAC, 1990), 120g pour les analyses chimiques et 100g pour la recherche de mycotoxines. Les résultats ont été ajustés pour une teneur de 90 % de MS. Les analyses de la composition nutritionnelle ont été réalisées par la technique NIR (Proche-infrarouge) à l'aide d'un matériel Foss (modèle NIRSystems 6500, logiciel Winisi II). L'ajustement des courbes d'étalonnage a été fait à l'aide de la base de données d'Adisseo, en accord avec la procédure CEAN.010 analytique d'Adisseo Brésil S.A.

1.1.2. Analyses mycotoxicologiques

Ergostérol : la solution standard d'ergostérol (Chimique Sigma, St. Louis, USA) a été obtenue à partir de la dilution de l'échantillon original (1g/100 mL d'éthanol absolu). Des dilutions successives ont été réalisées dans le même solvant pour obtenir un échantillon utilisé comme standard (4,0µg/mL). L'extraction et la quantification de l'ergostérol ont été réalisées d'après Moraes et al. (2003). L'extraction a été effectuée avec un solvant organique sous irradiation dans un four à micro-ondes (1,5 KWh) et la quantification par chromatographie liquide de haute performance (CLHP). La quantification a été réalisée par la mesure de la zone du chromatogramme qui correspond à l'ergostérol contenu dans l'échantillon, comparée avec la zone du chromatogramme qui correspond à l'ergostérol standard. Le taux de récupération de la méthode a été testé en triple, avec 4 niveaux d'ergostérol (1,7-13,6 mg de l'ergostérol/g de maïs). Le coefficient de récupération moyen était de 99,6 %. La limite de détection, déterminée grâce à des dilutions successives était de 0,11 mg/g. Les échantillons présentant des concentrations d'ergostérol supérieures à 13,6 mg/g de maïs ont été dilués et ré-analysés (Moraes et al., 2003).

Aflatoxine : L'extraction et la clarification (nettoyage) des aflatoxines ont été réalisées à l'aide du matériel ASPEC (Gilson, Villiers le Bel, France) couplé en ligne avec un système CLHP. La méthode d'extraction a été adaptée de la technique de Trucksess et al. (1994). L'élution d'AfG1, AfB1, AfG2 et AfB2 a été faite aux temps respectivement de 5, 7, 12 et 17 minutes, avec des limites de quantification de 0,7 ; 0,4 ; 1,3 et 0,4 µg/kg et un coefficient de récupération respectivement de

101,2 ; 93,2 ; 58,9 et 63,2 %. Le coefficient de corrélation de la courbe de calibrage a varié de 0,994 à 0,999.

Zéaralénone : Les méthodes d'extraction et de purification en phase solide et la dérivation ont été les mêmes que celles utilisées pour l'aflatoxine. Les paramètres de CLHP étaient: une phase mobile composée de méthanol : acide acétique 0,2 % : (68:32, v/v) avec un flux de 1 mL/min ; une colonne chromatographique ODS 5 m (250 x 4,6 mm) à température constante de 40°C et une détection sous fluorescence avec longueur d'onde de 310 et 460 nm respectivement pour l'excitation et l'émission. L'élution de la zéaralénone dans la colonne analytique s'est faite au temps de 12 min de chromatographie, avec une limite de quantification de 12 µg/kg et un coefficient de récupération de 89 %, environ. Le coefficient de corrélation de la courbe de calibrage variait de 0,995 à 0,999.

1.1.3. Analyses statistiques

Les données ont été soumises à l'analyse de variance selon un modèle en blocs randomisés. Une matrice estimée des

coefficients de corrélation de Pearson a été soumise au diagnostic de multicolinéarité, pour éliminer les variables très corrélées entre elles. Cette procédure évite des effets directs et biaisés dans l'analyse de la piste (analyse de la trajectoire). Les calculs ont été analysés avec le logiciel Gènes Statistiques (Cruz, 2001) et le modèle d'interprétation proposé par Vencovsky et Barriga (1992).

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats des principales variables étudiées sont présentés dans le tableau 1. Pour les paramètres agronomiques, il existe des différences significatives ($P < 0,05$) entre les 42 hybrides étudiés pour la durée du cycle de culture, la hauteur des plantes et des épis, le nombre de plantes et d'épis et le rendement. De même, des différences significatives existent pour la teneur en matières azotées et les principaux acides aminés étudiés ($P < 0,05$). Le coefficient de variation moyen (CV) pour les acides aminés a été d'environ 5 %, la variation la plus faible a été pour l'arginine (3,3 %) et la plus élevée pour le tryptophane (7,7 %). L'effet de l'hybride sur la contamination par les mycotoxines a été significatif

Tableau 1 - Caractéristiques agronomiques, nutritionnelles et mycotoxologiques de différents hybrides de maïs

Caractéristiques	Moyenne	CV, %	Min	Max
Agronomiques				
Cycle de la culture, jours	73*	1,1	67	76
Hauteur plantes, cm	219*	4,6	180	261
Hauteur épis, cm	131*	5,2	97	160
Plante, 1000x/ha	57,33*	5,7	46,25	68,75
Epis, 1000x/ha	54,78*	10,2	38,75	81,25
Rendement, t/ha	8,760*	14,6	4,27	11,98
Nutritionnelles, %/kg MS				
Matière azotée	8,89*	5,1	7,68	10,97
Lysine	0,258*	4,5	0,227	0,283
Méthionine	0,199*	4,3	0,170	0,227
AA soufrés	0,376*	4,1	0,328	0,419
Thréonine	0,293*	3,8	0,260	0,351
Tryptophane	0,084*	7,1	0,068	0,102
Valine	0,422*	5,3	0,351	0,532
Isoleucine	0,315*	5,1	0,260	0,396
Leucine	1,054*	5,9	0,838	1,336
Phénylalanine	0,399*	6,0	0,317	0,510
Histidine	0,239*	4,7	0,204	0,283
Arginine	0,405*	3,3	0,362	0,464
Mycotoxologiques, ppb/kg MS				
Aflatoxine B1	9,82 ns	411,4	0,00	377,12
Aflatoxine B2	0,84 ns	275,6	0,00	12,91
Aflatoxine G1	1,80 ns	238,8	0,00	37,71
Aflatoxine G2	0,82 *	243,7	0,00	13,25
Ergosterol	3,90 ns	61,8	0,00	15,06
Zéaralénone	4,45 ns	636,6	0,00	213,70

* Effet significatif par le test F au seuil de 5% de probabilité d'erreur, ns - non significatif

($P < 0,05$) seulement pour l'aflatoxine G2. Cela confirme les observations antérieures selon lesquelles la présence d'aflatoxines peut être influencée par la variété de maïs (Campbell et White, 1995, Betrán et al., 2002). Cette variation est associée aux différences dans la structure physique et chimique des grains qui déterminent la résistance au développement des champignons (Guo et al., 1995). Toutefois, actuellement, il n'existe aucun hybride de maïs résistant aux champignons qui produisent des aflatoxines (Betrán et Isakeit, 2004). Cependant, dans notre étude, des différences entre les hybrides de maïs pour l'aflatoxine ont été identifiées, ce qui suggère l'existence d'une composante génétique associée au développement des champignons.

Les corrélations entre les caractéristiques agronomiques, nutritionnelles et mycotoxicologiques des maïs étudiés sont présentées dans le tableau 2. La durée du cycle du maïs affecte positivement et significativement ($P < 0,05$) les teneurs en matières azotées, méthionine, AA soufrés, thréonine, isoleucine, valine, leucine, phénylalanine, histidine et arginine. L'effet de la durée du cycle de culture a été négatif ($P < 0,05$) sur les teneurs en tryptophane mais n'a pas modifié ($P > 0,05$) celle de la lysine. L'effet de la durée du cycle sur la contamination par des mycotoxines a été positif et significativement corrélé ($P < 0,05$) aux aflatoxines B1, B2 et G1. Il existe une relation entre la teneur en matières azotées, surtout la fraction soluble, et la maturité des grains. De même la présence d'aflatoxines dépend du degré de maturité de la plante (Betrán et Isakeit, 2004), la teneur en différents substrats favorables à la croissance des

champignons s'accroissant avec la maturité. Des facteurs de stress (climat, pratiques culturales, densité), plus fréquents à la fin du cycle de la culture, peuvent aussi affecter la composition des grains et les conditions de développement de champignons (Bruns et Abbas, 2005a).

Mis à part une corrélation positive ($P < 0,05$) avec la teneur en arginine, aucun effet de la hauteur des plantes n'a été observé sur les éléments nutritifs étudiés, ou la présence de mycotoxines. En revanche, la hauteur des épis est corrélée positivement ($P < 0,05$) avec la teneur de tous les acides aminés étudiés sauf le tryptophane ($P > 0,05$). Cela peut être expliqué par la photosynthèse plus intense des plantes plus hautes (Jurgens, 2005). Cependant, la teneur en matières azotées et la présence de mycotoxines ne sont pas influencées par la hauteur des épis. Le nombre de plantes par m^2 a été corrélé négativement ($P < 0,05$) avec les teneurs en acides aminés à l'exception du tryptophane, de la valine et de l'isoleucine. La densité de plantes de maïs n'affecte pas ($P > 0,05$) la teneur en matière azotée ni celle des mycotoxines. Le nombre d'épis est corrélé négativement ($P < 0,05$) aux teneurs en matières azotées, en lysine, en méthionine, en AA soufrés, en histidine et en arginine, mais n'affecte pas ($P > 0,05$) la présence de mycotoxines. Le rendement du maïs est corrélé négativement ($P < 0,05$) aux teneurs de tous les AA étudiés, à l'exception de la méthionine. Le rendement n'a pas affecté la présence de mycotoxines. Plusieurs études ont démontré que la densité des plantes présente une corrélation négative avec les teneurs en mycotoxines, dans la mesure où cela peut être un facteur de

Tableau 2 - Coefficients de corrélation linéaire entre les caractéristiques agronomiques, nutritionnelles et mycotoxicologiques de différents hybrides de maïs

Caractéristiques	Caractéristiques agronomiques					
	Cycle	Hauteur plantes	Hauteur épis	Plantes/ha	Epis/ha	Rendement
Nutritionnelles						
Matière azotée	0,169*	-0,135	0,127	-0,139	-0,147*	-0,582
Lysine	0,117	-0,005	0,191*	-0,187*	-0,176*	-0,347*
Méthionine	0,310*	0,136	0,397*	-0,472*	-0,188*	-0,139
AA soufrés	0,277*	0,073	0,355*	-0,348*	-0,253*	-0,369*
Thréonine	0,260*	-0,031	0,237*	-0,250*	-0,129	-0,488*
Tryptophane	-0,048	-0,005	0,073	-0,034	-0,039	-0,143
Valine	0,182*	-0,094	0,170	-0,146	-0,103	-0,507*
Isoleucine	0,154*	-0,098	0,142*	-0,147	-0,055	-0,456*
Leucine	0,226*	-0,104	0,175*	-0,207*	-0,088	-0,486*
Phénylalanine	0,241*	-0,073	0,225*	-0,225*	-0,139	-0,528*
Histidine	0,296*	-0,027	0,288*	-0,327*	-0,226*	-0,417*
Arginine	0,324*	0,163*	0,373*	-0,404*	-0,215*	-0,293*
Mycotoxicologiques						
Aflatoxine B1	0,150*	0,126	0,127	-0,110	-0,002	0,001
Aflatoxine B2	0,222*	0,077	0,095	-0,006	0,034	0,006
Aflatoxine G1	0,180*	-0,110	0,029	-0,071	-0,084	-0,133
Aflatoxine G2	0,147	-0,097	-0,000	0,074	0,068	-0,066
Ergosterol	0,118	0,018	0,141	0,038	-0,066	-0,128
Zéaraléone	0,039	0,048	-0,003	-0,078	-0,049	0,072

* Effet significatif par le test F au seuil de 5 % de probabilité d'erreur

stress pour la plante (Bruns et Abbas, 2005ab). La densité, contrairement à la hauteur, réduit le rayonnement solaire, modifiant la répartition du carbone pour la synthèse d'éléments nutritifs pour la plante (Whisler et al., 1986). Dans cette étude, cette corrélation n'a pas été observée, probablement en raison de l'utilisation de densités adéquates.

Les corrélations entre les caractéristiques nutritionnelles et mycotoxiques sont présentées dans le tableau 3. Les corrélations ne sont pas significatives ($P > 0,05$) entre les caractéristiques nutritionnelles et la présence d'aflatoxines B1, B2, G2 et la zéaralénone. En revanche, la présence de l'aflatoxine G1 est corrélée positivement ($P < 0,05$) avec les éléments nutritifs étudiés, sauf le tryptophane. La présence d'ergostérol est aussi corrélée positivement ($P < 0,05$) avec les teneurs en lysine, AA soufrés et tryptophane. La production d'aflatoxine est influencée par plusieurs facteurs, entre autres la composition nutritionnelle des grains (Payne et Hagler, 1983). Le tryptophane, par exemple, est un inhibiteur de la production d'aflatoxine (Reddy et al., 1971 ; Payne et Hagler, 1983).

Les coefficients de corrélation de Pearson sont présentés dans le tableau 4. Pour la valine, l'isoleucine, la leucine, la phénylalanine et l'arginine les caractéristiques chimiques ont été exclues de l'analyse à cause de leur forte corrélation avec les autres variables de la matrice, ce qui cause un degré élevé de colinéarité et un biais dans les évaluations des effets (Cruz, 2001). Les matières azotées, l'histidine et l'arginine présentent une vraie association (effet direct semblable en magnitude et signe du coefficient de corrélation) avec la durée du cycle de l'hybride. De la même façon, la méthionine, les AA soufrés et l'arginine sont associés à la taille des épis et aux teneurs en méthionine et en arginine. Le nombre de plantes et la matière

azotée sont associés au rendement. Ainsi, la durée du cycle, la taille des épis, le nombre de plantes et le rendement peuvent être utilisés pour la sélection (Cuomo et al., 1998). Les teneurs en méthionine, isoleucine et histidine sont liées à la durée du cycle de l'hybride et les teneurs en lysine, en AA soufrés et en tryptophane à la taille des épis. Les teneurs en AA soufrés sont liées à celles en tryptophane et à la densité de plantes, l'isoleucine et l'histidine étant associées au rendement. Normalement, les teneurs en acides aminés varient en fonction des stades de développement de la plante, de la densité et du rendement (Azevedo et Lea, 2001). Ainsi, les caractéristiques des plantes de maïs sont importantes dans la détermination des valeurs de composition chimiques. Ces associations peuvent être utilisées dans la sélection des hybrides les mieux adaptés aux besoins des animaux.

CONCLUSION

Les caractéristiques agronomiques, nutritionnelles et mycotoxiques sont influencées par l'hybride de maïs considéré. Il affecte fortement les teneurs en matières azotées et en acides aminés, mais faiblement la contamination des grains par les mycotoxines.

Les caractéristiques de la culture affectent beaucoup la composition nutritionnelle mais peu la teneur en mycotoxines. Par contre la présence de mycotoxines influence la composition nutritionnelle des grains.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient pour leur supports : Adisseo Brésil/CEAN pour les analyses chimiques et LAMIC pour les analyses de mycotoxines.

Tableau 3 - Coefficients de corrélation linéaire entre les caractéristiques nutritionnelles et mycotoxiques de différents hybrides de maïs

Caractéristiques nutritionnelles	Caractéristiques mycotoxiques					
	AF B1	AF B2	AF G1	AF G2	Ergosterol	Zéaralénone
Matière azotée	-0,026	-0,016	0,174*	0,094	0,127	-0,006
Lysine	-0,077	-0,127	0,189*	-0,071	0,256*	-0,009
Méthionine	0,028	-0,024	0,260*	0,002	-0,006	0,084
AA soufrés	0,018	-0,055	0,253*	0,039	0,197*	0,059
Thréonine	-0,050	-0,032	0,177*	0,027	0,055	0,097
Tryptophane	0,064	0,048	0,045	0,092	0,170*	-0,112
Valine	-0,061	-0,034	0,166*	0,071	0,067	-0,021
Isoleucine	-0,026	0,013	0,148	0,115	0,026	-0,019
Leucine	-0,042	-0,021	0,157*	0,076	0,032	0,039
Phénylalanine	-0,041	-0,032	0,198*	0,074	0,101	0,040
Histidine	-0,019	-0,078	0,223*	0,002	0,074	0,041
Arginine	0,011	-0,061	0,286*	-0,046	0,140	0,108

* Effet significatif par le test F au niveau de 5 % de probabilité d'erreur

Tableau 4 - Coefficients de corrélation de Pearson et estimations respectives des effets directs et indirects des caractéristiques nutritionnelles sur la durée du cycle de la culture (CY), la hauteur des épis (HE), le nombre de plantes (NP) et le rendement (RE) de différents hybrides de maïs

Effet	MAT	LYS	MET	AAS	THR	TRY	HIS	ARG
Direct sur CY	-0,082	-0,300	-0,009	0,072	0,290	-0,092	0,118	0,174
Indirect voie								
MAT		-0,047	-0,043	-0,063	-0,073	-0,041	-0,066	-0,043
LYS	-0,173		-0,114	-0,222	-0,151	-0,104	-0,184	-0,200
MET	-0,005	-0,003		-0,006	-0,006	-0,001	-0,007	-0,005
AAS	0,055	0,054	0,051		0,051	0,033	0,063	0,053
THR	0,256	0,146	0,189	0,204		0,064	0,241	0,173
TRY	-0,046	-0,032	-0,011	-0,042	-0,020		-0,027	-0,026
HIS	0,095	0,072	0,088	0,102	0,098	0,035		0,075
ARG	0,090	0,116	0,096	0,128	0,104	0,050	0,112	
Total (Coef. Pearson)	0,169	0,117	0,310	0,277	0,260	-0,048	0,296	0,324
Direct sur la HE	-0,685	-0,148	0,143	0,422	0,611	0,145	-0,160	0,060
Indirect voie								
MAT		-0,395	-0,356	-0,524	-0,605	-0,342	-0,550	-0,355
LYS	-0,086		-0,057	-0,110	-0,075	-0,051	-0,091	-0,099
MET	0,074	0,054		0,102	0,093	0,017	0,107	0,079
AAS	0,323	0,313	0,300		0,296	0,195	0,365	0,310
THR	0,539	0,308	0,397	0,430		0,135	0,507	0,365
TRY	0,072	0,050	0,018	0,067	0,032		0,043	0,042
HIS	-0,128	-0,098	-0,119	-0,138	-0,132	-0,047		-0,102
ARG	0,031	0,040	0,033	0,044	0,036	0,017	0,038	
Total (Coef. Pearson)	0,127	0,191	0,397	0,355	0,237	0,073	0,288	0,373
Direct sur NP	0,329	0,143	-0,349	0,048	-0,319	-0,097	-0,014	-0,167
Indirect voie								
MAT		0,190	0,171	0,251	0,290	0,164	0,264	0,170
LYS	0,082		0,054	0,106	0,072	0,050	0,088	0,095
MET	-0,181	-0,133		-0,248	-0,227	-0,042	-0,261	-0,192
AAS	0,037	0,036	0,034		0,034	0,022	0,042	0,036
THR	-0,281	-0,160	-0,207	-0,224		-0,070	-0,265	-0,190
TRY	-0,049	-0,034	-0,012	-0,045	-0,021		-0,029	-0,028
HIS	-0,012	-0,009	-0,011	-0,012	-0,012	-0,004		-0,009
ARG	-0,086	-0,111	-0,092	-0,123	-0,099	-0,048	-0,107	
Total (Coef. Pearson)	-0,139	-0,187	-0,472	-0,348	-0,250	-0,034	-0,327	-0,404
Direct sur RE	-1,155	0,007	0,249	0,120	0,388	0,341	-0,076	-0,201
Indirect voie								
MAT		-0,666	-0,599	-0,884	-1,019	-0,576	-0,927	-0,599
LYS	0,004		0,003	0,005	0,004	0,002	0,004	0,005
MET	0,129	0,095		0,177	0,162	0,030	0,186	0,137
AAS	0,092	0,089	0,085		0,084	0,055	0,104	0,088
THR	0,342	0,195	0,252	0,273		0,086	0,322	0,232
TRY	0,170	0,118	0,041	0,157	0,075		0,100	0,098
HIS	-0,061	-0,046	-0,057	-0,066	-0,063	-0,022		-0,049
ARG	-0,104	-0,134	-0,111	-0,148	-0,120	-0,058	-0,129	
Total (Coef. Pearson)	-0,582	-0,347	-0,139	-0,369	-0,488	-0,143	-0,417	-0,293

MAT (Matière azotée), LYS (Lysine), MET (Méthionine), AAS (AA soufrés), THR (Thréonine), TRY (Tryptophane), HIS (Histidine), ARG (Arginine)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aaron D. K., Hays V. W., 2004. How many pigs ? Statistical power considerations in swine nutrition experiments. *J. Anim. Sci.*, 82, E245-254.
- Abbas S. K., Ratcliffe W. A., Moniz C., Dixit M., Caple I. W., Silver M., Fowden A., Care A. D., 1994. The role of parathyroid hormone-related protein in calcium homeostasis in the fetal pig. *Exp. Physiol.*, 79, 527-536.
- Agrisual, 2005. Anuário da Agricultura Brasileira. Ed. São Paulo, SP, 520p.
- Aoac, 1990. Official methods of analysis (15 Ed.). Ed. Arlington, VA, 1117 p.
- Azevedo R. A., Lea P. J., 2001. Lysine metabolism in higher plants. *Amino Acids*, 20, 261-279.
- Betrán F., Isakeit T., Odvody G., 2002. Combining ability for resistance to aflatoxin accumulation in white and yellow maize inbreds. *Crop. Sci.* v.42, p.1894-1901.
- Betrán F. J., Isakeit T., 2004. Aflatoxin Accumulation in Maize Hybrids of Different Maturities. *Agron J.*, 96, 565-670.
- Bruns H. A., Abbas H. K., 2005a. Responses of Short-Season Corn Hybrids to a Humid Subtropical Environment. *Agron. J.*, 97, 446-451.
- Bruns H. A., Abbas H. K., 2005b. Ultra-High Plant Populations and Nitrogen Fertility Effects on Corn in the Mississippi Valley. *Agron. J.*, 97, 1136-1140.
- Campbell K. W., White D. G., 1995. Inheritance of resistance to *Aspergillus* ear rot and aflatoxin in maize genotypes. *Phytop.*, 85, 886-896.
- Cromwell G. L., Calvert C. C., Cline T. R., Crenshaw J. D., Crenshaw T. D., Easter R. A., Ewan R. C., Hamilton C. R., Hill G. M., Lewis A. J., Mahan D. C., Miller E. R., Nelssen J. L., Pettigrew J. E., Tribble L. F., Veum T. L., Yen J. T., 1999. Variability among sources and laboratories in nutrient analyses of corn and soybean meal. NCR-42 Committee on Swine Nutrition. North Central Regional-42. *J. Anim. Sci.*, 77, 3262-3273.
- Cruz C. D., 2001. PROGRAMA GENES - versão Windows: aplicativo computacional em genética e estatística. ed. Viçosa, 648 p.
- Cuomo G., Redfearn D., Blouin D., 1998. Plant density effects on tropical corn forage mass, morphology, and nutritive value. *Agron J.*, 90, 93-96.
- D'Mello J. P. F., Placinta C. M., Macdonald A. C. M., 1999. *Fusarium* mycotoxins: a review of global implications for animal health, welfare and productivity. *Anim. Feed Sci. Techn.*, 80, 183-205.
- FNP, 2002. ANUALPEC 2002 - Anuário da Produção Brasileira. Ed. São Paulo, 400 p.
- Guo B. Z., Russin J. S., Cleveland T. E., Brown R. L., Widstrom N. W., 1995. Wax and cutin layers in maize kernels associated with resistance to aflatoxin production by *Aspergillus flavus*. *J. Food Prot.*, 58, 296-300.
- ITCF/Eurolysine. 1995. Ileal digestibility of amino acids in feedstuffs. 52p.
- Jurgens, G., 2005. Cytokinesis in Higher Plants. *Ann. Rev. Plant Biol.*, 56, 281-299.
- Lamic. 2005. Resultados de análises micotoxicológicas. 2005, 20/09, Santa Maria.
- Moraes R. J. Q.; Almeida C. A. A., Dilkin P., Kowalski C. H., Mallmann C. A., 2003. Dosagem de ergosterol como indicador de contaminação fúngica em milho armazenado. *Arq. Instit. Biol.*, 70, 483- 489.
- O'quinn P. R., Nelssen J. L., Goodband R. D., Knabe D. A.; Woodworth J. C., Tokach M. D., Lohrmann T. T., 2000. Nutritional value of a genetically improved high-lysine, high-oil corn for young pigs. *J. Anim. Sci.*, 78, 2144-2149.
- Payne G. A., Hagler W. M. J., 1983. Effect of Specific Amino Acids on Growth and Aflatoxin Production by *Aspergillus parasiticus* and *Aspergillus flavus* in Defined Media. *Appi. Environn. Microb.*, 46, 805-812.
- Reddy T. V., Viswanathan L., Venkitasubramanian T. A., 1971. High aflatoxin production on a chemically defined medium. *Appi. Microbiol.*, 22, 393-396.
- Sindrachões. 2005. Demanda de macroingredientes. 2005, accès en 19/09/05.
- Trucksess M. W., Stack M. E., Nesheim E., 1994. Multifunctional column couplet with liquid chromatography for determination of aflatoxin B1, B2, G1 and G2 in corn, almonds, in Brazil nuts, peanuts, and pistachio nuts: Collaborative Study. *J. AOAC Internat.*, 77, 1512-1521.
- Vencovsky R., Barriga P., 1992. Genética biométrica no fitomelhoramento. ed. Ribeirão Preto, 496 p.
- Whisler F. D., Acock B., Baker D., N., Fye R. E., Hodges H. F., Lambert J. R., Lemmon, H. E., Mckinion J. M., Redd V. R., 1986. Crop simulation. *Adv. Agron*, 40, 141-208.