

**Caracterização genética por análise demográfica da vacada
Mertolenga da Herdade da Contenda**

2010

Caracterização genética por análise demográfica da vacada Mertolenga da Herdade da Contenda

Nuno Carolino e Luís Telo da Gama

Unidade de Recursos Genéticos, Reprodução e Melhoramento Animal, INSTITUTO NACIONAL DOS RECURSOS BIOLÓGICOS, I.P.



Nuno Henriques, José Pais, Helena Alcaria e Samuel Rodrigues

ASSOCIAÇÃO DE CRIADORES DE BOVINOS MERTOLENGOS.



INTRODUÇÃO

A variabilidade genética de uma população pode ser estudada através da análise de dados genealógicos, da estimação de parâmetros genéticos de caracteres produtivos de interesse ou através da diversidade observada com marcadores moleculares de diferentes tipos. A análise demográfica permite descrever a estrutura e a dinâmica de uma população, considerando-a um grupo de indivíduos em permanente renovação e tendo em conta o seu *pool* de genes. Deste modo, a análise das genealogias é uma metodologia fundamental para a caracterização de populações, já que permite avaliar a variabilidade genética existente, e a sua evolução ao longo das gerações.

A caracterização genética por análise demográfica do efectivo bovino Mertolengo da Herdade da Contenda foi elaborada na Unidade de Recursos Genéticos, Reprodução e Melhoramento Animal do Instituto Nacional dos Recursos Biológicos, I. P. (INRB, I.P.), a partir de toda a informação disponível no Livro Genealógico da raça bovina Mertolenga recolhida até final de 2010, sobre a vacada da Herdade da Contenda. Utilizou-se a informação acumulada na base de dados da Associação de Criadores de Bovinos Mertolengos (ACBM), nomeadamente registos de nascimentos e genealogias, e foram analisados os seguintes parâmetros demográficos:

- Evolução do número de registos no Livro Genealógico
- Distribuição mensal dos partos
- Intervalo de gerações (L)
- Grau de preenchimento das genealogias
- Número de gerações conhecidas (n_i)
- Consanguinidade individual (F_i)
- Grau de parentescos (a_{ij})
- Acréscimo da consanguinidade por ano ($\Delta F/\text{ano}$) e por geração ($\Delta F/\text{geração}$)
- Tamanho efectivo da população (N_e)
- Contribuições genéticas de fundadores (q_k) e ascendentes (p_k)
- Número efectivo de fundadores (f_e)
- Número efectivo de ascendentes (f_a)

METODOLOGIA UTILIZADA

Os parâmetros demográficos foram através de diversas aplicações construídas para o efeito (Carolino e Gama, 2002). Estas aplicações também incluem nos seus procedimentos diversos tipos de validações e filtragem dos dados a serem submetidos a análise, com o objectivo de eliminar possíveis erros.

Para os cálculos dos indicadores demográficos consideraram-se todos os indivíduos de raça Mertolenga (puros) que pertencem ou pertenceram à Herdade da Contenda e respectivos ascendentes, disponíveis no ficheiro de genealogias da ACBM, o que originou uma população em estudo de 2015 indivíduos, a partir da qual se elaborou a matriz de parentesco entre todos os animais conhecidos (Van Vleck, 1993). Para a determinação de alguns indicadores, nomeadamente a distribuição mensal dos partos, também foram considerados os registos de nascimentos de animais cruzados, utilizando-se então uma base de dados com 2198 registos, sendo 2015 animais puros (92%) e 183 animais cruzados (8%).

O coeficiente de consanguinidade individual (F_i) e o grau de parentesco entre indivíduos (a_{ij}) foram estimados pelo método tabular e, posteriormente, confirmados com os resultados da matriz de parentescos obtida a partir do programa MTDFREML (Boldman et al., 1995).

A consanguinidade individual (F_i) representa a probabilidade de dois alelos no mesmo *locus* serem iguais por descendência (Wright, 1923), enquanto que o grau de parentesco (a_{ij}) entre dois indivíduos (i e j) representa o dobro da probabilidade de, num determinado *locus*, um alelo retirado aleatoriamente do indivíduo i e um alelo retirado aleatoriamente do indivíduo j , serem iguais por descendência.

O acréscimo anual da consanguinidade ($\Delta F/\text{ano}$) foi estimado por regressão do coeficiente de consanguinidade individual (F_i) no ano de nascimento, tendo-se utilizado para o efeito o programa SAS (SAS Institute, 2004) e o seguinte modelo linear:

$$F_{ij} = b_0 + b_1 \text{ano}_i + e_{ij}$$

em que F_{ij} representa a consanguinidade individual do indivíduo j nascido no ano i , b_0 a intercepção, b_1 o coeficiente de regressão linear da consanguinidade individual no ano de nascimento e e_{ij} o erro associado com a observação ij . A partir de $\Delta F/\text{ano}$, determinou-se o acréscimo da consanguinidade por geração ($\Delta F/\text{geração}$), calculado como $(\Delta F/\text{ano}) * L$, em que L representa o intervalo de gerações médio, e corresponde à idade média dos pais quando nascem os filhos que os vão substituir.

O número de gerações conhecidas (n_i) foi obtido individualmente, para todos os animais na base de dados ($n=1758$) através da seguinte expressão:

$$n_i = \frac{n_p + 1}{2} + \frac{n_m + 1}{2}$$

em que, n_p e n_m representam, respectivamente, o número de gerações conhecidas do pai e da mãe.

Segundo Falconer e McKay (1996), o tamanho efectivo de uma população (N_e), é definido como o número de indivíduos de uma população com uma estrutura não ideal, que daria origem a uma determinada taxa de consanguinidade se a sua estrutura fosse ideal (*e.g.* igual número de machos e fêmeas, com ausência de selecção, acasalamentos aleatórios, etc.). Na caracterização demográfica, o N_e foi calculado através da seguinte expressão:

$$N_e = \frac{1}{2(\Delta F / \text{geração})}$$

em que $\Delta F/\text{geração}$ representa o acréscimo da consanguinidade por geração.

O número efectivo de fundadores (f_e) e de ascendentes (f_a), e as contribuições genéticas de fundadores (q_k) e de ascendentes (p_k), foram determinados através de aplicações desenvolvidas em Clipper Summer 87 (Carolino e Gama, 2002), segundo a metodologia proposta por Boichard *et al.* (1997).

O número efectivo de fundadores (f_e) representa o número de fundadores (f) que daria origem à diversidade genética observada na população em estudo, se todos os fundadores tivessem igual contribuição, tendo sido calculado através da expressão seguinte:

$$f_e = \frac{1}{\sum_{k=1}^f q_k^2}$$

em que, q_k corresponde à contribuição proporcional de cada fundador k para a população em estudo (*e.g.*, animais nascidos em determinado período de tempo), considerando-se como fundador um animal com pai e mãe desconhecidos, ou o progenitor desconhecido de um animal em que apenas se conhece um dos seus progenitores

O número efectivo de ascendentes (f_a) representa o número de ascendentes (fundadores ou não) que explicam a totalidade da variabilidade genética da população em estudo, se todos os ascendentes tivessem igual contribuição, tendo sido determinado através das seguintes expressões:

$$f_a = \frac{1}{\sum_{k=1}^f p_k^2} \quad \text{em que} \quad p_k = q_k \left(1 - \sum_{i=1}^{n-1} a_{ij} \right)$$

em que p_k corresponde à contribuição marginal de um ascendente, ou seja, a contribuição ainda não explicada pelos seus ascendentes já calculados, q_k corresponde à proporção com que cada ascendente k contribui para a população em estudo, à qual é deduzida a contribuição de todos os seus parentes cujas contribuições já foram determinadas e a_{ij} é o parentesco entre k e cada um dos seus $n-1$ ascendentes.

APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS E DISCUSSÃO

A informação sobre registos de nascimento e partos na vacada Mertolenga da Herdade da Contenda, é recolhida de uma forma contínua e sistemática, desde 1991. Desde essa data e até 2000, o efectivo adulto era constituído por menos de 100 fêmeas e registavam-se anualmente entre 40 e 80 nascimentos (Figura 1 e Figura 2).

Figura 1 - Evolução anual do número de fêmeas reprodutoras presentes na vacada

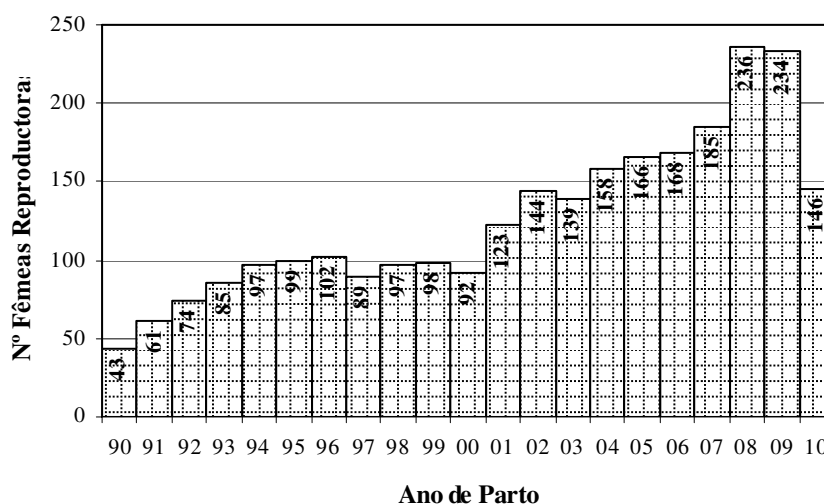
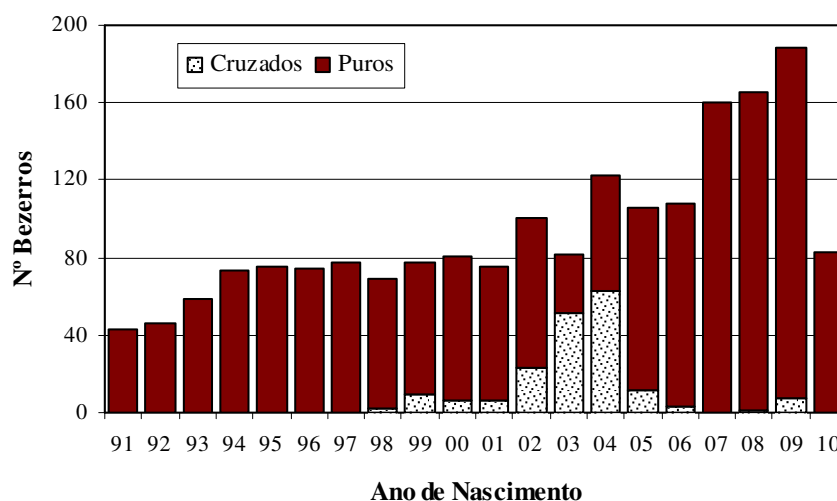


Figura 2 - Evolução do número de nascimentos de animais puros e cruzados

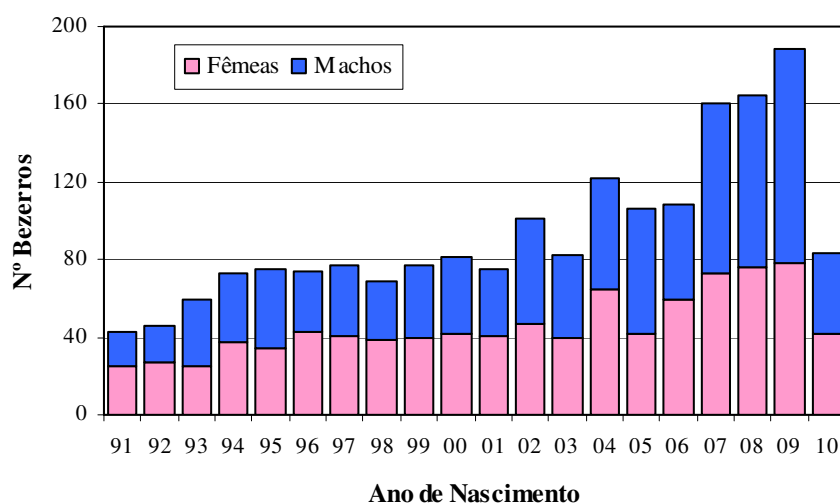


Em 1999 optou-se por cruzar parte das fêmeas, mantendo as restantes com machos Mertolengos e, em 2002, decidiu-se aumentar o efectivo reprodutor para cerca de 150 vacas. Este número viria a ser atingido em 2005, ano em que a gestão do efectivo passou a ser da responsabilidade da ACBM. Desde então, a ACBM optou por aumentar o efectivo para próximo das 300 cabeças (250 fêmeas adulta e 50 novilhas) e explorar a vacada em linha pura, através do recrutamento de machos a partir de outras explorações e com recurso à inseminação artificial.

Em 2008 e 2009 o efectivo reprodutor manteve-se próximo das 250 fêmeas adultas. Contudo, por questões sanitárias, em 2010 o efectivo sofreu uma redução, sendo o efectivo bovino Mertolengo da Herdade da Contenda actualmente constituído por 160 fêmeas adultas e por 3 machos reprodutores, um dos quais ainda novilho e sem filhos registados.

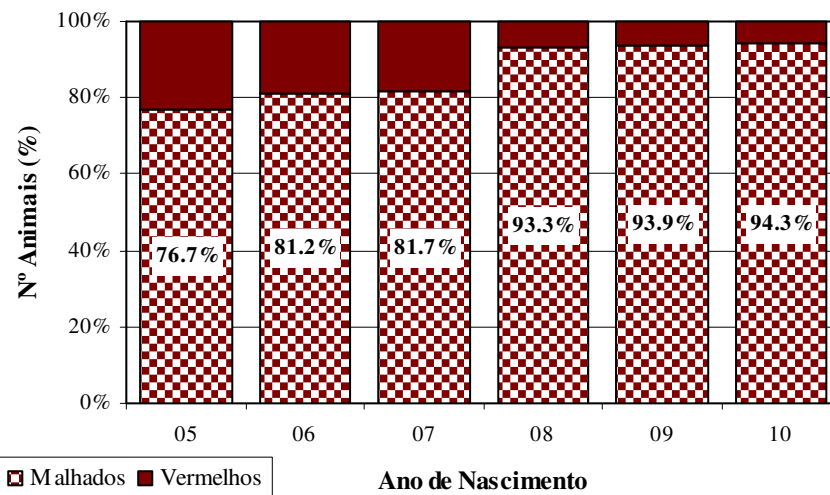
A distribuição dos nascimentos ao longo dos anos e segundo o sexo manteve-se constante, tendo registados, entre 1991 e 2010, 949 nascimentos de machos (51%) e 924 nascimentos de fêmeas (49%).

Figura 3 – Evolução anual do número de nascimentos por sexo (animais puros e cruzados)



O nascimento de animais Mertolengos com pelagem Malhada (Malhado de Vermelho) tem aumentado proporcionalmente desde 2005, registando-se desde 2008 valores acima dos 93%. Através deste núcleo de conservação da Herdade da Contenda, a ACBM tem promovido o nascimento de animais malhados.

Figura 4 - Evolução anual do número de nascimentos segundo a pelagem (animais puros)



Até 2004, verificou-se neste efectivo, tal como na maioria dos efectivos da raça Mertolenga, que a maioria dos partos se registaram a entre Agosto e Dezembro. Para isso, os touros normalmente permaneciam nas vacadas entre Novembro e Março, sendo posteriormente retirados, resultando daí um período fixo de partos.

A partir de 2005, começou-se a efectuar uma segunda época de cobrição, entre Maio e Julho, de que resultou uma segunda época de partos, embora com muito menos registos de partições, entre Fevereiro e Abril (Figura 5, Figura 6 e Figura 7). Nestes últimos anos, embora a maioria dos partos se verifiquem na principal e tradicional época entre Agosto e Dezembro, já não se regista uma acumulação destes durante o mês de Setembro, havendo uma distribuição mais uniforme das partições entre Agosto e Dezembro (Figura 8).

Figura 5 – Distribuição mensal dos partos (1995-1999)

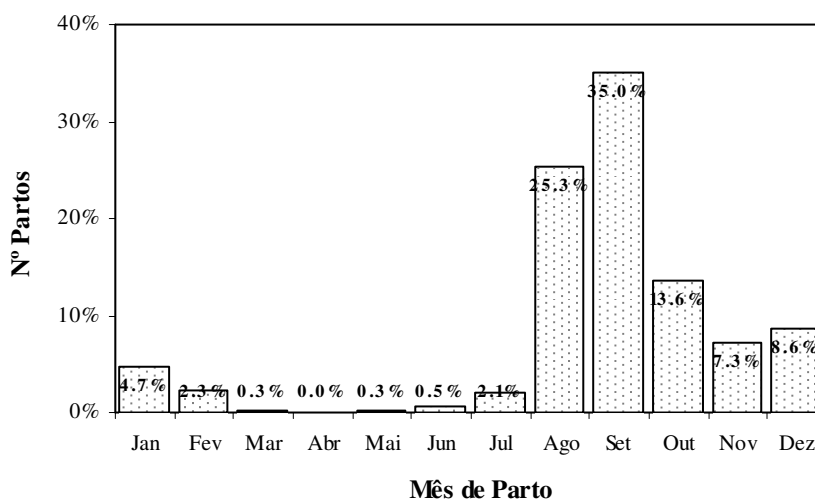


Figura 6 – Distribuição mensal dos partos (2000-2004)

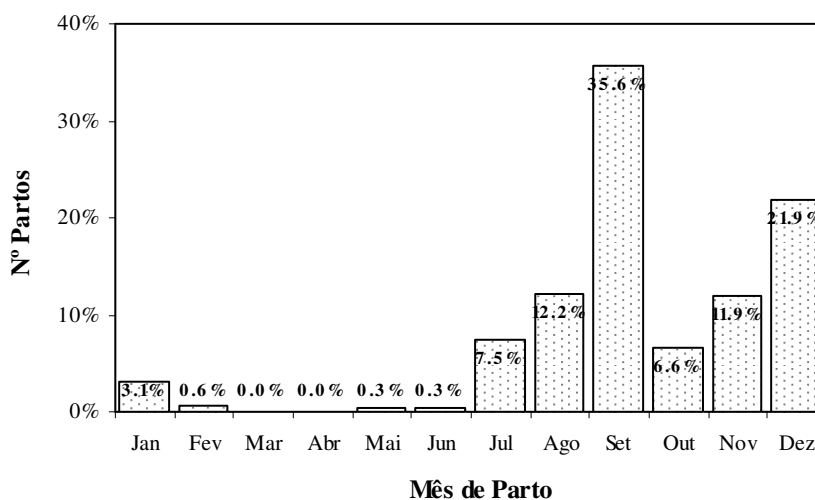


Figura 7 – Distribuição mensal dos partos (2005-2009)

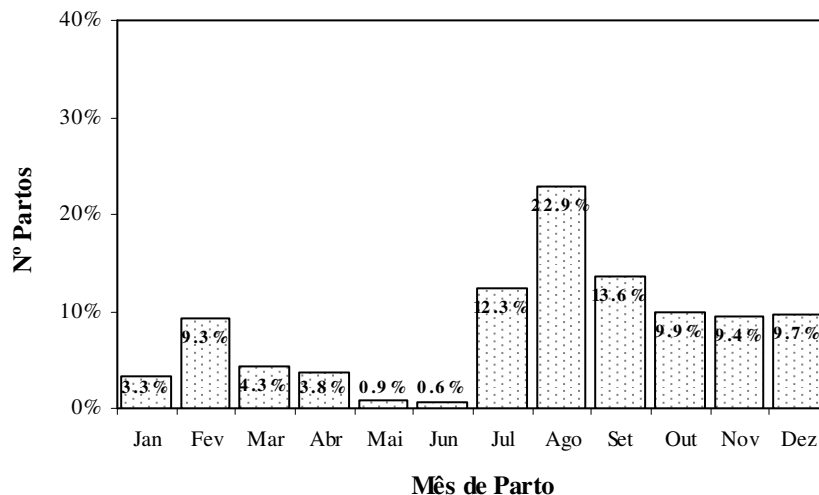


Figura 8 – Distribuição mensal dos partos (1995-2010)

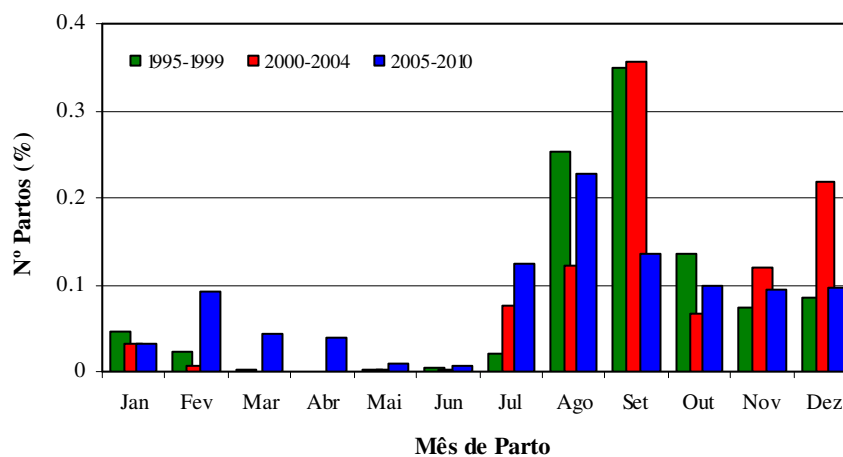


Figura 9 – Estrutura etária do actual efectivo reprodutor feminino (146 fêmeas)

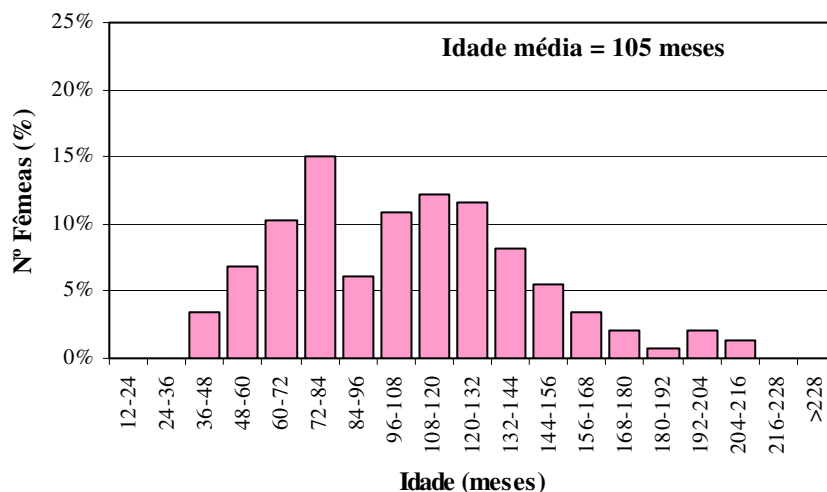
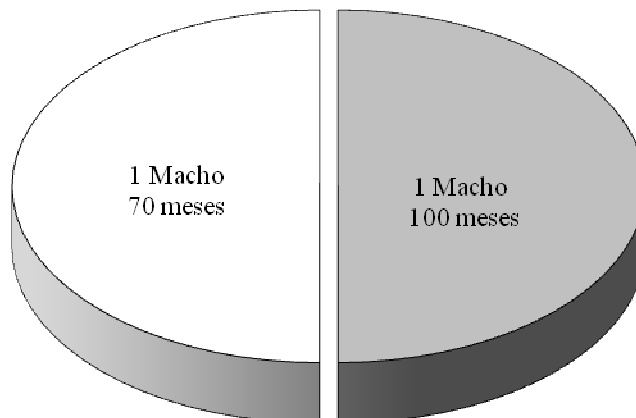


Figura 10 – Estrutura etária do actual efectivo reprodutor masculino¹

A estrutura etária do actual efectivo reprodutor da Herdade da Contenda, está um pouco mais envelhecida do que o normal, como resultado da saída forçada de algumas fêmeas por questões sanitárias. Enquanto que, em 2008, a idade média da fêmeas estava próxima dos 67 meses, actualmente estima-se em 105 ± 40 meses (Figura 9), verificando-se uma maior percentagem de fêmeas com idades compreendidas entre os 72 e os 132 meses (6 e 11 anos). Quanto aos machos, existem actualmente 2 touros, com aproximadamente 70 e 100 meses de idade, e 1 novilhos embora ainda sem filhos nascidos (Figura 10).

Um dos objectivos principais que a ACBM se propôs aplicar na gestão do efectivo da Herdade da Contenda foi a amostragem de uma representação diversificada do património genético da raça Mertolenga, e a manutenção da consanguinidade a níveis tão baixos quanto possível. A partir das Figuras 11, 12, 13 e 14 é possível constatar o enorme esforço da ACBM em aumentar o número de touros utilizados, promovendo assim a diminuição do número de descendentes por macho e o tempo de utilização dos reprodutores. Adicionalmente, promoveu-se a entrada de machos reprodutores provenientes de outros efectivos (Figura 13), com a intenção de que o parentesco destes machos com as fêmeas reprodutoras da Herdade da Contenda fosse o menor possível, para que os animais resultassem menos consanguíneos.

Nos últimos anos também foi evidente a melhoria da qualidade da informação recolhida, nomeadamente ao nível das genealogias dos animais, o que pode ser constatado quer através da evolução positiva do número de gerações conhecidas (Figura 15), quer na melhoria do nível de preenchimento das genealogias dos animais nascidos em diferentes períodos (Figura 16),

Verifica-se desde 2005 um aumento evidente do número de gerações conhecidas (Figura 15), que atingiu o valor de 4 no ano de 2010. Isto é, em média, os animais nascidos em 2010 têm pais, avós, bisavós e trisavós conhecidos.

¹ Também existe um novilho embora ainda não disponha de registos de filhos

Figura 11 – Número de Touros utilizados anualmente

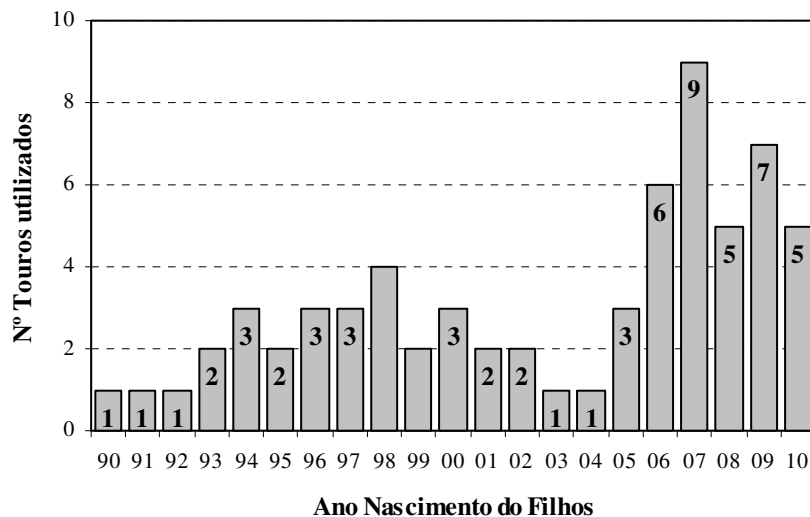


Figura 12 – Número de novos Touros na vacada e número de descendentes por touro

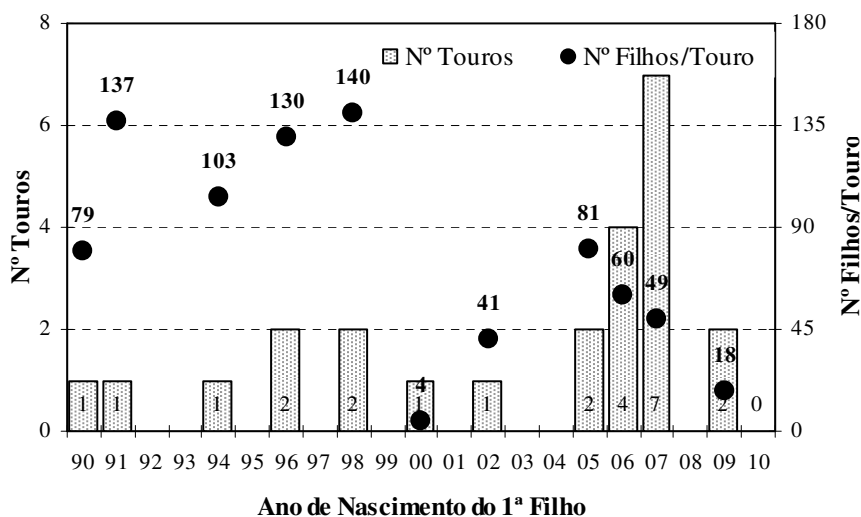


Figura 13 – Origem dos novos Touros da vacada

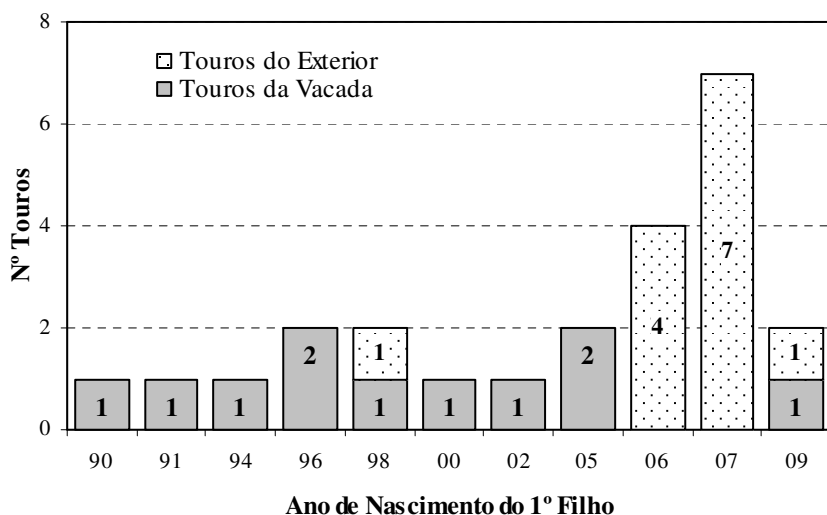
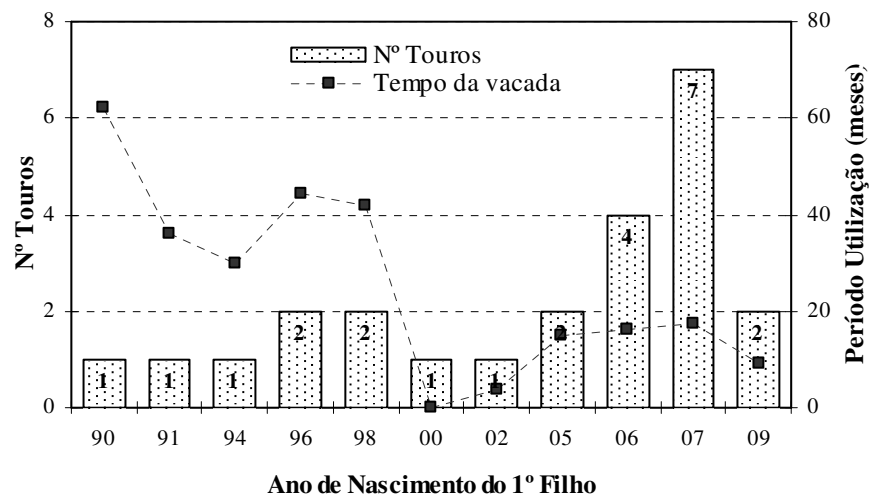
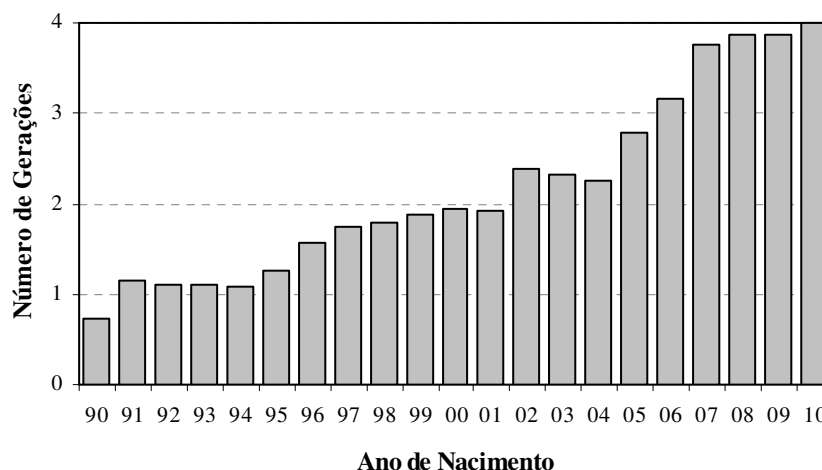


Figura 14 – Número de novos Touros na vacada e tempo de utilização como reprodutor**Figura 15 – Número médio de gerações conhecidas por ano de nascimento (1433 Animais nascidos entre 1990 e 2008)**

Nos últimos anos também se conseguiu um incremento significativo da informação genealógica disponível. Enquanto que, até 2000, era muito reduzida a percentagem de animais que nasciam com avós e bisavós conhecidos, praticamente todos os animais nascidos a partir de 2005 têm agora os avós conhecidos e, em média, mais de 80% também têm bisavós conhecidos. A melhoria desta informação é notória nos animais nascidos no ano de 2010.

Há ainda a registar a melhoria da qualidade da informação genealógica paterna, comparativamente à materna, que deverá manter-se rigorosa, particularmente no caso dos machos adquiridos no exterior. A informação genealógica actualmente conhecida no efectivo bovino Mertolengo da Herdade da Contenda é superior à média da raça bovina Mertolenga, o que realça o contributo desta população para a raça no seu global.

Figura 16 – Nível de preenchimento das Genealogias (%) na vacada Mertolenga

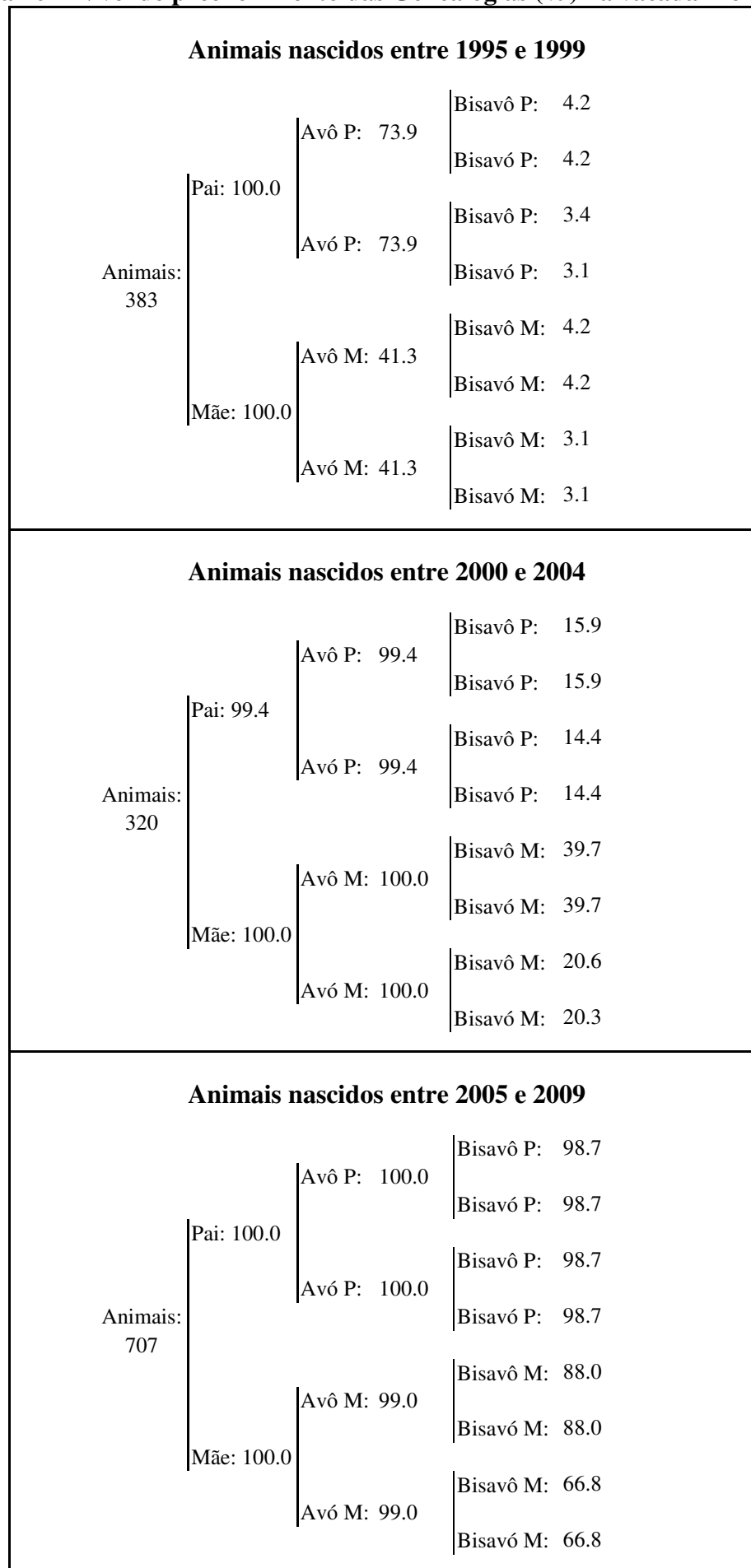
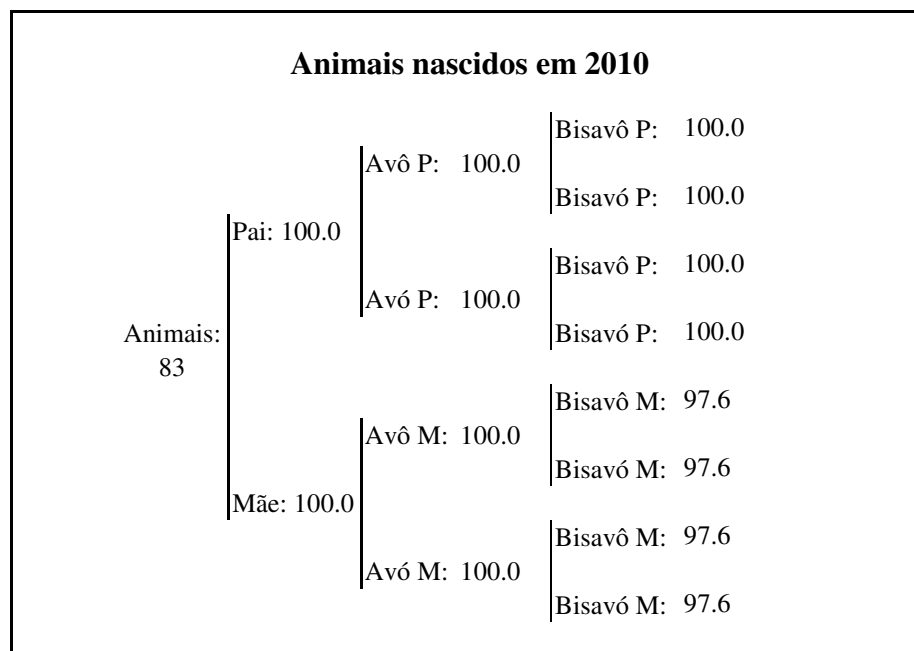
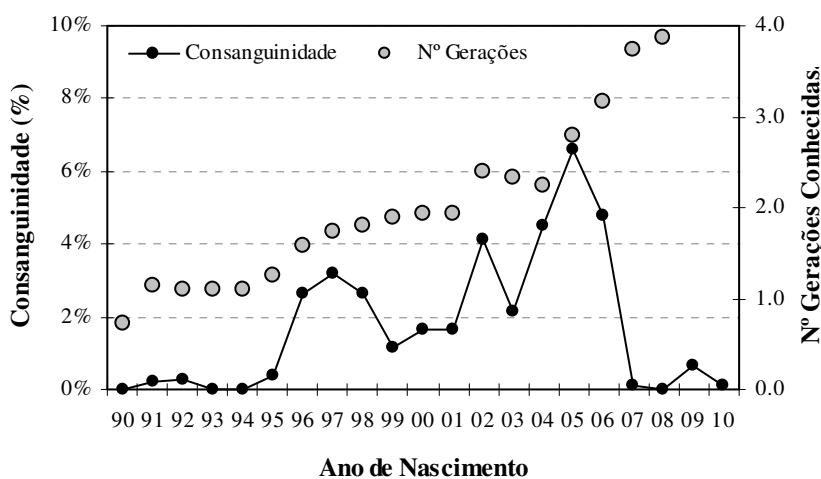


Figura 16 – Nível de preenchimento das Genealogias (%) na vacada Mertolenga (continuação)



O aumento da consanguinidade média individual, que se vinha a registar desde o início da constituição desta vacada (Figura 17), foi invertido a partir de 2006, verificando-se uma diminuição do coeficiente de consanguinidade dos animais nascidos nos últimos anos (entre 2007 e 2010).

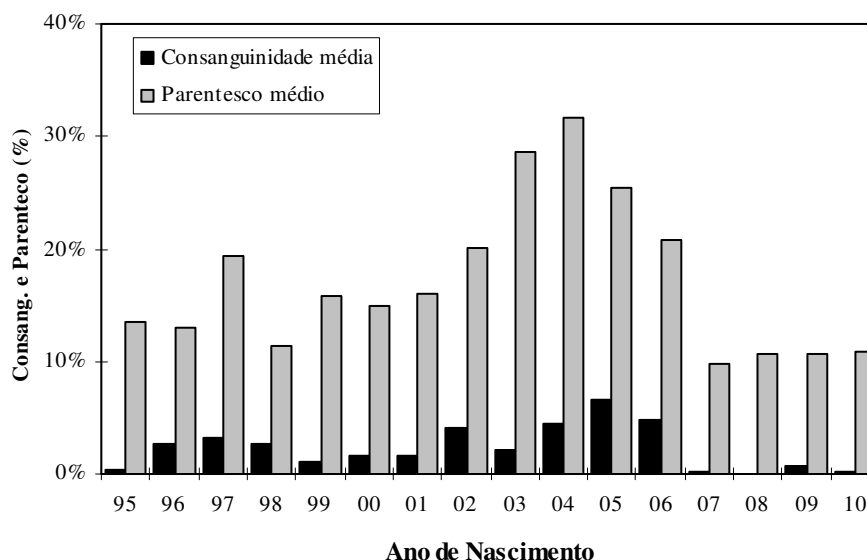
Figura 17 – Evolução da consanguinidade por ano de nascimento (1688 Animais nascidos entre 1991 e 2010)



Verifica-se ainda um decréscimo do parentesco médio entre animais nascidos nos últimos anos (Figura 18). Isto é, para além da consanguinidade ter diminuído, porque os machos são menos aparentados com as fêmeas disponíveis na vacada da Herdade da Contenda, como os machos reprodutores também são pouco aparentados entre si, os animais que nascem resultam obviamente menos aparentados. Desta forma, e sem contrariar a tendência de recrutamento de animais a partir do exterior, nesta fase, a utilização de machos provenientes da própria vacada em algumas fêmeas

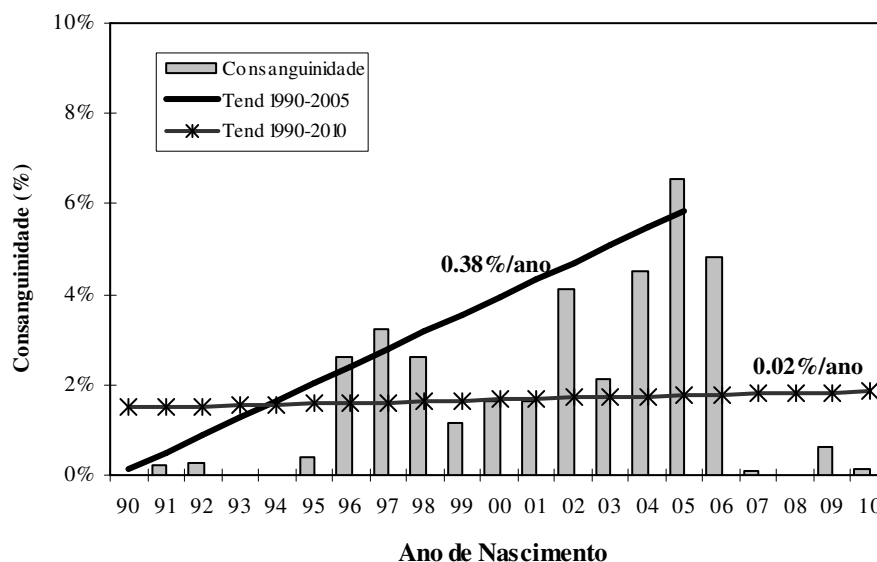
não seria demasiado prejudicial do ponto de vista da manutenção da consanguinidade a níveis baixos.

Figura 18 – Evolução da consanguinidade e do parentesco por ano de nascimento



Através da Figura 19 observa-se que, quando se consideram apenas os nascimentos até 2005, o acréscimo médio anual da consanguinidade é de 0.38%, mas é de apenas 0.02% quando se consideram todos os animais nascidos até 2010.

Figura 19 – Evolução e tendência anual da consanguinidade



O aumento da consanguinidade, apesar de apresentar uma tendência de +0.38% ou +0.02% por ano, respectivamente quando se considera apenas o grupo de animais nascidos até 2005 ou todos, é bastante mais reduzido que o da maioria das explorações da raça Mertolenga (Carolino *et al.*, 2004), assim como do valor registado na raça Alentejana (Carolino e Gama, 2008) ou do observado em diversas raças espanholas (Alistana com 0.33%/ano, Morucha com 0.36%/ano,

Retinta com 0.39%/ano e Sayaguesa com 0.59%/ano), conforme descrito por Gutiérrez *et al.* (2000).

O intervalo de gerações (Figura 20) registado na vacada da Herdade da Contenda pode considerar-se ainda elevado (6.4 anos), resultante da longevidade elevada dos animais desta raça (Figura 21 e Figura 22), apesar do tempo de utilização de machos ser menor nos últimos anos. Através da Figura 21 é possível constatar que aproximadamente 20% dos partos foram registados em fêmeas que tinham mais de 10 anos ao parto e que 5% dos partos foram de fêmeas com mais de 14 anos.

Os valores do intervalo de gerações obtidos no efectivo Mertolengo da Herdade da Contenda é semelhante ao registado na maioria dos efectivos da raça Mertolenga, próximo do obtido na raça bovina Alentejana (Carolino e Gama, 2008), mas bastante mais elevado do que o registado nas raças francesas Aubrac, Gasconne e Salers, com valores de L entre 3.0 e 4.5 anos (Renand e Havy, 2000), e do que em diversas raças espanholas (Alistana, Asturiana de la Montaña, Asturiana de los Valles, Avileña-Negra Ibérica, Bruna dels Pirineus, Morucha, Pirenaica e Sayaguesa), com valores de L estimados entre os 3.7 e 5.5 anos (Gutiérrez *et al.*, 2000).

Figura 20 – Intervalos de gerações (L) para as 4 vias de selecção

L (anos)	Pais	Mães
Todos os animais	6.15	6.48
Touros	5.69	7.27
Vacas	6.25	6.42

} L = 6.4 anos

Figura 21 – Distribuição da idade ao parto das fêmeas paridas entre 2005 e2010 (811 nascimentos puros+cruzados)

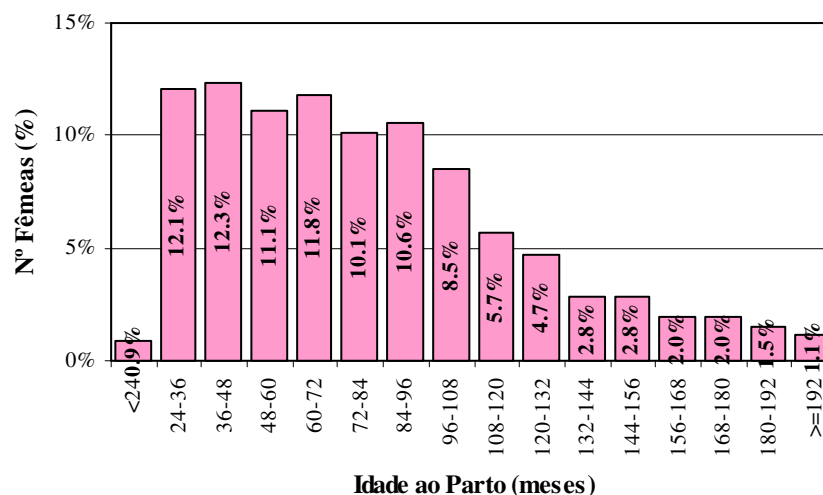
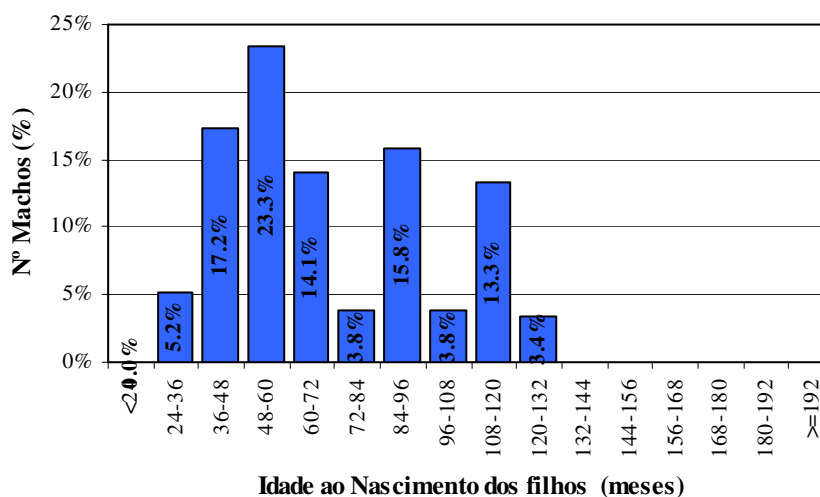


Figura 22 – Distribuição da idade dos machos ao nascimento dos filhos
(Machos com filhos nascidos ente 2005-2010 - 811 nascimentos puros+cruzados)



Apesar do valor elevado do intervalo de gerações, o tamanho efectivo da população (Figura 23), resultante do cálculo do acréscimo da consanguinidade verificado até 2010, apresenta valores adequados para um núcleo e conservação (492.2) e bastante acima das recomendações da FAO, que sugere que uma população deverá ter um N_e superior a 50, para que o risco de erosão genética seja considerado aceitável. A melhoria do Tamanho Efectivo da População, estimado em 126.9 quando considerados os registos de nascimentos entre os 1990 e 1998, para 492.2 é considerável.

Figura 23 – Tamanho Efectivo da População (N_e) e Taxa de Consanguinidade (ΔF)

Parâmetros demográficos estimados	Período considerado		
	1990-2005	1990-2008	1990-2010
ΔF /ano	0.3821%	0.0625%	0.0182%
Intervalo de Gerações (L)	6.32 anos	6.32 anos	6.4 anos
ΔF /geração	2.41%	0.39%	0.12%
Tamanho efectivo da população (N_e)	20.7	126.9	429.2

A utilização de machos provenientes de outras explorações também resultou num aumento do número efectivo de fundadores e de ascendentes. Até 2005, apenas 2 ascendentes justificavam mais de 50% da variabilidade observada nos animais nascidos, mas a partir dessa data cerca de 4 a 5 ascendente explicam 50% da variabilidade genética. Verifica-se, desde de 2005, uma clara melhoria das estimativas dos valores do número efectivo de ascendentes e de fundadores (Figuras 24 e 25).

Figura 24 – Contribuição genética de Fundadores

População em Estudo	Nº Fundadores	Nº Animais da População em Estudo	Nº Efectivo de Fundadores	Nº Fundadores que explicam +50% da Variabilidade Genética
01-01-2000 e 31-12-2001	207	147	11.4	4
01-01-2002 e 31-12-2003	207	113	9.8	3
01-01-2004 e 31-12-2005	207	157	8.5	3
01-01-2006 e 31-12-2007	207	265	24.7	9
01-01-2008 e 31-12-2009	207	346	28.4	10
01-01-2010 e 31-12-2010	207	83	29.2	11

Figura 25 – Contribuição genética de Ascendentes

População em Estudo	Nº Ascendentes	Nº Animais da População em Estudo	Nº Efectivo de Ascendentes	Nº Ascendentes que explicam +50% da Variabilidade Genética
01-01-2000 e 31-12-2001	164	147	6.9	2
01-01-2002 e 31-12-2003	241	113	6.19	2
01-01-2004 e 31-12-2005	259	157	4.8	2
01-01-2006 e 31-12-2007	441	265	12.8	5
01-01-2008 e 31-12-2009	481	346	12.1	5
01-01-2010 e 31-12-2010	315	83	10.2	5

Globalmente estes resultados demonstram que a ACBM tem feito um enorme esforço no sentido de conseguir uma gestão mais adequada do património genético do efectivo da raça Mertolenga mantido na Herdade da Contenda. Este esforço traduziu-se em:

- Melhoria na qualidade dos registos genealógicos recolhidos
- Manutenção de todo o efectivo em linha pura
- Diversificação dos touros utilizados
- Mais rápida rotação dos touros
- Delineamento dos acasalamentos com o objectivo de minimizar os parentescos próximos

Os indicadores demográficos obtidos sobre o efectivo Mertolengo Malhado da Herdade da Contenda e apresentados neste relatório indicam que, com a estratégia desenvolvida pela ACBM, conseguiu-se num curto espaço de tempo:

- Baixar o nível de consanguinidade (que passou a ser quase nula)
- Reduzir a taxa de consanguinidade para valores perfeitamente aceitáveis
- Aumentar o tamanho efectivo da população
- Diversificar a representatividade dos fundadores e ascendentes na população actual.

Os resultados obtidos até ao momento levam a crer que o efectivo da Contenda deverá vir a desempenhar um papel fundamental na gestão do património genético da raça Mertolenga, não só como reservatório da diversidade genética existente nesta raça, mas também como elemento indispensável do respectivo programa de selecção.

Bibliografia

- Boichard, D., L. Maignel e É. Verrier, 1997. The value of using probabilities of gene origin to measure genetic variability in a population. *Genet. Sel. Evol.*, 29:5-23.
- Boldman, K. G., L. A. Kriese, L. D. Van Vleck, C. P. Van Tassell e S. D. Kachman, 1995. A Manual for Use of MTDFREML. A set of programs to obtain estimates of variances and covariances [DRAFT]. USDA, ARS, Clay Center, NE, USA.
- Carolino, N. e L. T. Gama, 2002. Manual de Utilização de Software para a Gestão de Recursos Genéticos Animais. Estação Zootécnica Nacional, Instituto Nacional de Investigação Agrária e Pescas, Portugal (policopiado).
- Carolino, N. e L.T. Gama, 2008. Indicators of genetic erosion in an endangered population: The Alentejana cattle breed in Portugal. *JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE*, 86: 47-56.
- Carolino, N., J. Pais, P. Ventura, N. Henriques e L. Gama, 2004. Caracterização demográfica da raça bovina Mertolenga. *Rev. Port. Zoot.*, Ano IX, Nº1:61-78.
- Falconer, D. S. e T. F. C. Mackay, 1996. *Introduction to Quantitative Genetics*. 4th Ed. Longman Group Ltd., Essex, England, UK.
- Gutiérrez, J. P., J. Altarriba, C. Díaz, R. Quintanilla, M. Izquierdo, J. Cañón e J. Piedrafita, 2000. “Demographic and genetic analysis of Spanish beef cattle breeds”, Characterization and assessment of genetic aptitudes of European local beef breeds for producing quality meat. Final Report of the FAIR I PL95/702 Research Project: 75-99. UAB, Barcelona, Spain.
- Renand, G. e A. Havy, 2000. “Demographic and genetic analysis of three French beef cattle breeds”, Characterization and assessment of genetic aptitudes of European local beef breeds for producing quality meat. Final Report of the FAIR I PL95/702 Research Project. UAB, Barcelona, Spain.
- SAS, 2004. SAS® 9.1.2 for Microsoft Windows. SAS International, Heidelberg, Germany.
- Van Vleck, L. D., 1993. Selection index and introduction to mixed model methods. CRC Press, Boca Raton, USA.
- Wright, S., 1923. Mendelian analysis of pure breeds of livestock. I - The measurement of inbreeding and relationship. *J. Heredity*, 14:339-348.