



## Modelo de simulação do desempenho reprodutivo de fêmeas bovinas de corte com base no escore de condição corporal

José Acélio Silveira da Fontoura Júnior<sup>1,3</sup>, Frank Siewerdt<sup>2</sup>, Nelson José Laurino Dionello<sup>1</sup>, Marcio Nunes Corrêa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Zootecnia, FAEM, Universidade Federal de Pelotas (UFPel).

<sup>2</sup> Department of Animal and Avian Sciences, University of Maryland, College Park, MD, EUA.

<sup>3</sup> Departamento de Clínicas Veterinária, FAVET, UFPel, Núcleo de Pesquisa, Ensino e Extensão em Pecuária (NUPEEC) - Campus Universitário, CEP: 96010-900, Pelotas, RS.

**RESUMO** - Os objetivos neste trabalho foram desenvolver um modelo matemático dinâmico para descrever o processo reprodutivo em sistemas de produção de bovinos de corte e simular o desempenho reprodutivo do rebanho, com base no desempenho individual das fêmeas, determinado a partir do escore de condição corporal ao parto e da maturidade sexual. Trata-se de um modelo empírico, dinâmico e que contém elementos determinísticos e estocásticos. O desenvolvimento do modelo foi baseado na relação entre o escore de condição corporal (ECC) e o intervalo parto-concepção (IPC) para vacas com cria ao pé. Para novilhas e vacas vazias, a concepção foi baseada na probabilidade de conceber, de modo que, para novilhas, a idade e/ou o peso à puberdade foram fatores limitantes. O modelo tem duas formas de leitura dos dados de entrada: uma do relatório de parição gerado pelo *software*; e a outra, a partir dos dados de entrada definidos pelo usuário. Os dados de entrada são considerados médias, com exceção dos referentes à estação reprodutiva, e o modelo atribui um desvio-padrão para cada variável, de modo que os dados utilizados na execução do modelo seguem uma distribuição normal. A saída final, em formato de relatórios, fornece, além de outras informações, o total de kg de bezerros desmamados/vaca/ano. É possível alterar valores de entrada para testar o impacto dessas mudanças nas variáveis de resposta. O desenvolvimento do modelo contribuiu para maior compreensão do sistema estudado e permitiu a simulação do desempenho reprodutivo de fêmeas bovinas de corte a partir do ECC ao parto (ECCPAR). Seu uso, para auxiliar no processo de tomadas de decisão no mundo real, depende das próximas etapas do trabalho, como verificação, calibração e validação.

Palavras-chave: bovinos de corte, modelagem, reprodução

## Simulation model of the reproductive performance of beef cows based on body condition score

**ABSTRACT** - A dynamic mathematical model was developed to describe the reproductive process in beef cattle production systems and to simulate individual cow reproductive performance while generating results for the herd, based on the body condition score (BCS) at calving and age at sexual maturity. The model is empiric and dynamic, containing deterministic and stochastic elements. The model was developed based on the relationship between BCS and postpartum interval for lactating cows; for heifers and non-lactating cows, the conception rate was based on the probability to conceive; for heifers, body weight and age at puberty were the limiting factors. The model has two forms of reading inputs: from a parturition report generated by software or from raw data provided by the user. Input data are considered averages, except for those defining the reproductive season. The model assigns a standard deviation to each variable, with normal distribution. The final output is in the form of a report providing the annual amount of kg of weaned calves per cow, among other information. Inputs may be freely changed to evaluate the impact of new parameters on the output. This model contributes to a greater understanding of the production system studied and allows simulation of the reproductive performance of beef cows at calving from their BCS. Once validated, it is envisioned that the model will be a valuable tool to aid decision-making.

Key Words: beef cattle, modeling, reproduction

### Introdução

A modelagem é sobretudo uma tentativa de integração de diferentes fenômenos e pode ser limitada pelos recursos

humanos e materiais utilizados na sua construção (Lovatto & Sauvant, 2001). É baseada principalmente na sistematização, o que permite o posicionamento do modelador frente ao estado de conhecimento (Lovatto, 2003). O

objetivo de modelar um sistema é entender seu funcionamento e para prever o seu comportamento em diversas condições (Fialho, 1999). Em decorrência das várias combinações entre as opções de manejo e genética e a alta exigência em recursos monetários e tempo para avaliar sistemas de produção em bovinos de corte, a simulação por computador é uma importante ferramenta para avaliá-los (Tess & Kolstad, 2000).

Os módulos de produção que englobam o sistema de cria devem dar especial atenção à reprodução que é o componente de maior impacto na eficiência produtiva (Morrison et al., 1999) e o maior determinante da lucratividade (Wiltbank et al., 1962). O desempenho reprodutivo é, frequentemente, limitado pelo prolongado anestro pós-parto (Ciccioli et al., 2003), principal fator econômico em termos de produtividade da vaca (Rutter & Randel, 1984), uma consequência das baixas reservas energéticas corporais ou da condição corporal (Richards et al., 1986; Hess et al., 2005). Níveis alimentares inadequados no período pré-parto ocasionam perdas de reservas corporais e aumentam o período parto-primeiro cio (Wiltbank et al., 1962; Richards et al., 1986; Spitzer et al., 1995). O escore de condição corporal ao parto (ECCPAR) é mencionado como o principal fator determinante do intervalo parto – primeiro cio, da taxa de prenhez (Selk et al., 1988; Spitzer et al., 1995; Lake et al., 2005), da duração do anestro pós-parto (Spitzer et al., 1995; Lalman et al., 1997; Looper et al., 2003; Hess et al., 2005) e do intervalo de partos (Renquist et al., 2006). Segundo DeRouen et al. (1994) registros do ECCPAR são um indicador confiável do desempenho reprodutivo pós-parto para parição de primavera em vacas primíparas. O total de bezerros desmamados por vaca por ano em um sistema de cria é a forma mais precisa de avaliar a produtividade desse sistema (Gregory & Rocha, 2004). Os objetivos com este trabalho foram desenvolver um modelo matemático dinâmico para descrever o processo reprodutivo em sistemas de produção e simular o desempenho reprodutivo, com simulação por indivíduo e resultados globais, a partir do ECCPAR e da maturidade sexual.

## Material e Métodos

Visando maior facilidade de entendimento, foi criada uma lista de acrônimos (Tabela 1), os quais serão usados no texto e nos modelos conceituais deste estudo. O modelo foi desenvolvido e implementado no *software* RURAL FAZPEC (SIGTECH Tecnologia em Gestão e Universidade Federal de Pelotas - UFPel., 2005). Trata-se de um modelo empírico, dinâmico e que contém elementos determinísticos e estocásticos. A descrição é feita conforme os modelos

conceituais (Figuras 1 e 2) para vacas com cria ao pé e novilhas ou vacas solteiras, respectivamente. Para vacas com cria ao pé, o modelo é fundamentado na relação do ECCPAR com o intervalo parto concepção (IPC) (Figura 1), assumindo que o primeiro (ECCPAR) determinará o segundo (IPC). Uma variável importante é a data do parto (DPA), pois é por meio dela e do IPC que o modelo calcula a data da concepção (DCON) e a data do próximo parto, até atingir os cinco anos de simulação. Outras variáveis de entrada, como estação reprodutiva, por exemplo, atuam na restrição, ou seja, vacas que, devido ao seu ECCPAR, conceberiam, são consideradas sem concepção se a possibilidade de conceber estiver fora do período de estação reprodutiva. Nesse caso, as vacas consideradas vazias podem ficar no rebanho para a próxima estação reprodutiva ou ser descartadas. Se o número de novilhas for suficiente para suprir a reposição, todas as vacas sem cria ao pé são descartadas, caso contrário, fica no rebanho um número suficiente para suprir o déficit de novilhas. Com a DPA, PN, GMDND e DDESM, o modelo calcula o peso ao desmame dos bezerros,

Tabela 1 - Acrônimos e suas definições no texto e nos modelos conceituais

ECC	– Escore de condição corporal, escala de 1 a 5
ECCPAR	– Escore de condição corporal ao parto, escala de 1 a 5
DPA	– Data do parto
DDESM	– Data do desmame
DNASC	– Data do nascimento
DCON	– Data da concepção
PN	– Peso do bezerro ao nascimento, em kg (média entre machos e fêmeas)
PD	– Peso ao desmame, em kg (média entre machos e fêmeas)
PRIM	– Vacas primíparas, número de animais
VREPRO	– Vacas em reprodução, número de animais
EP	– Estação de parição, período
IEP	– Início da estação de parição, data
FEP	– Fim da estação de parição, data
ER	– Estação reprodutiva, período
IER	– Início da estação reprodutiva, data
FER	– Fim da estação reprodutiva, data
IPC	– Intervalo parto-concepção, em dias
TDESC	– Taxa de descarte, em %
TN	– Taxa de natalidade, em %
TD	– Taxa de desmame, em %
MORTDESM	– Taxa de mortalidade até o desmame, %
PUB	– Puberdade
PER	– Peso da novilha ao início da estação reprodutiva, kg
IPUB	– Idade à puberdade, em dias
INOV	– Idade da novilha, em dias
PPUB	– Peso da novilha à puberdade, em kg
NNOV	– Número de novilhas
CON	– Concepção, o fato de conceber
PCON	– Probabilidade de concepção, em %
GMD	– Ganho médio diário, em kg/animal/dia
GMDND	– Ganho médio diário do nascimento à desmama, em kg/animal/dia
CCRESC	– Curva de crescimento para novilhas
GNA	– Gerador de variável aleatória

descontada a MORTDESM. Para as novilhas, a data de concepção é estimada de maneira diferente, com base na IPUB ou PPUB. Se ao início da estação reprodutiva a novilha estiver crescendo conforme ou acima de sua CCRES, a PUB será atingida quando a INOV for igual a IPUB. Caso isso não ocorra, a PUB é determinada pelo PPUB, ou seja, quando o peso da novilha for igual ao PPUB. Ressalta-se que os modelos conceituais para vacas e novilhas são integrados, apenas foram separados no intuito de torná-los mais compreensíveis.

O desempenho reprodutivo simulado pelo modelo é medido pelo índice *kg de bezerro desmamado/vaca/ano*; ressalta-se que os índices necessários para se chegar a esse indicador, também são saídas do modelo, como: TN, TD, PN, GMDND, MORTDESM, idade do bezerro ao desmame e, conseqüentemente, o momento da concepção. Além disso, existe a possibilidade de filtrar esses resultados e extraí-los, por exemplo, por ECCPAR da vaca. Abaixo serão descritos os componentes do modelo e suas formas de funcionamento.

O escore de condição corporal (ECC) ou condição corporal é uma medida subjetiva de gordura corporal e a escala adotada nesse trabalho é a de 1 a 5 (segundo Moraes et al. 2005), de modo que 1 = animal muito magro e 5 = animal gordo).

**Relatório de parição** - O modelo executa a simulação para um período de cinco anos, com duas opções de leitura. A primeira lê os dados já existentes na propriedade por meio do relatório de parição gerado pelo programa RURAL FAZPEC com os seguintes dados: ECCPAR, DPAR, PN e identificação das PRIM. A segunda é uma projeção onde os dados de entrada, como: número de vacas, distribuição do

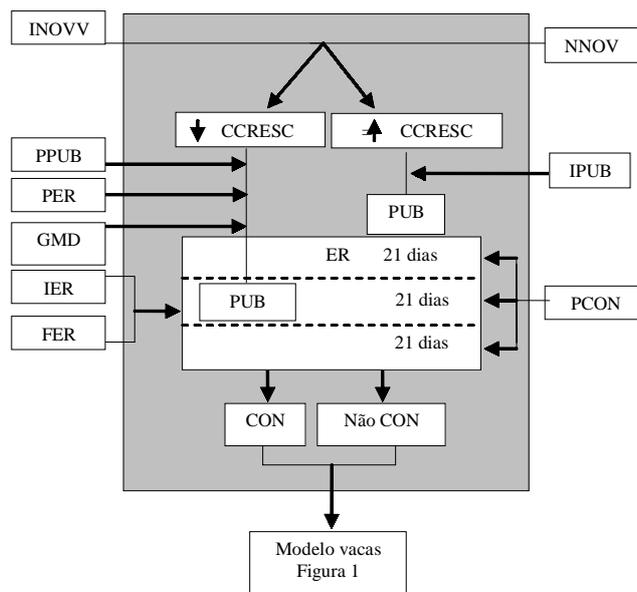


Figura 2 - Diagrama do modelo conceitual da concepção em novilhas baseado na curva de crescimento, na idade da novilha, na probabilidade de concepção, na idade à puberdade e no peso à puberdade.

número de vacas de acordo com o ECC ao parto (em número de vacas), data média do parto, IEP e FEP, ou da estação reprodutiva anterior, PN médio, os quais são fornecidos pelo usuário. Nesse caso, o modelo assume uma distribuição normal para esses dados, com média igual ao valor de entrada, e usa um desvio-padrão de 10% e 30%, respectivamente, para PN e DPAR, com os limites mínimos e máximos, respectivamente, de IEP e FEP para DPAR.

Adotou-se nesse trabalho o escore de condição corporal aferido ao parto (ECCPAR) por suas relações com o desempenho reprodutivo. O ECCPAR é um dado de entrada do modelo usado para calcular o IPC para vacas com cria ao pé. Os dados de ECCPAR são fornecidos pelo relatório de parição (1º ano), gerado pelo software (RURAL FAZPEC), ou diretamente pelo usuário.

**IPC para vacas com cria ao pé** - apesar das várias constatações da relação do ECCPAR com o desempenho reprodutivo, como visto no item introdução e posteriormente abordado nas discussões, poucos trabalhos referem-se ao IPC, principalmente com pontos suficientes para se formar uma curva de resposta. Empiricamente sabe-se que a resposta reprodutiva decorrente do ECC é quadrática. Neste trabalho foram utilizados os dados de Osoro & Wright (1992) para gerar a seguinte equação de regressão:

$$IPC = 10,714 \times ECC^2 - 84,286 \times ECC + 243,37 \quad (1)$$

A equação foi gerada com base em 321 partições de primavera, em vacas de corte, em Lanarkshire, Escócia, de 237 animais cruza Hereford × Friesians e 84 Blue-Greys

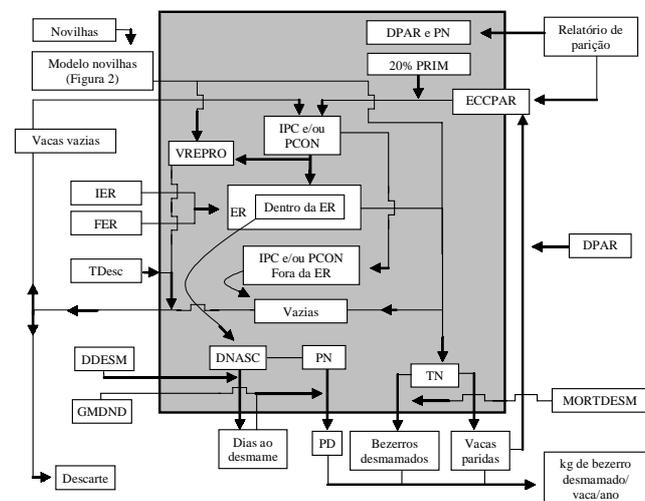


Figura 1 - Diagrama do modelo conceitual da vida reprodutiva de fêmeas bovinas de corte, a partir do ECC ao parto.

(Whitbred Shorthorn  $\times$  Galloway). A data de concepção foi estimada subtraindo-se 282 dias da data do parto seguinte. Os dados gerados por essa equação são coerentes, segundo o conhecimento empírico, e também suportados pelos dados de DeRouen et al. (1994), dos quais foi obtida a seguinte equação:

$$IPC = 12 \times ECCPAR^2 - 89,2 \times ECCPAR + 240,4 \quad (2)$$

Essa equação gera valores semelhantes aos de Osoro & Wright (1992). Os dados DeRouen et al. (1994) foram obtidos em dois anos, na Louisiana, EUA, com animais mestiços de várias origens genéticas, incluindo *Bos taurus* e *Bos indicus*.

No intuito de tornar o modelo o mais próximo da realidade, foi acrescentada aleatoriedade ao resultado de IPC. Para isso, considera-se o resultado da equação (1) como médio e, aleatoriamente, é acrescentado um valor que varia de -5 a +5 dias para cada animal, a cada vez que o modelo é executado, empregando-se um gerador de números aleatórios (GNA) com distribuição uniforme (Freitas Filho, 2001).

*Primíparas* – o modelo calcula o IPC de acordo com ECCPAR, conforme a equação descrita para vacas com cria ao pé. No entanto, vacas com cria ao pé aos 2 anos de idade retomam a função ovariana 20 a 40 dias depois das múltiparas (Wiltbank, 1970). Com base nisso, o modelo soma ao resultado de IPC um valor entre 20 e 40 dias, gerado de maneira aleatória – GNA com distribuição uniforme (Freitas Filho, 2001) – para as PRIM, de modo que esse valor é acrescentado de maneira individual para cada PRIM a cada rodada do modelo. O número de PRIM no ano corrente está de acordo com a taxa de reposição do ano anterior e a taxa de reposição/descarte entra no modelo como dado. Portanto, o percentual de reposição/descarte gerará o número de PRIM correspondente. No caso do número de novilhas não ser suficiente no ano anterior, o número de PRIM passa a corresponder ao número de novilhas disponíveis para reposição. Nesse caso, ao número de novilhas poderá ser somado, dependendo do sistema, um número de vacas sem cria ao pé, por meio da redução da taxa de descarte (entrada no modelo), ou seja, retendo matrizes vazias para manter estável o número de fêmeas.

*Possibilidade de concepção* - é determinada com base no IPC e período de estação reprodutiva. As vacas em que o IPC indica concepção dentro da estação reprodutiva são consideradas prenhes e aquelas com possibilidade de concepção fora da estação reprodutiva são consideradas vazias.

*PCON* – novilhas e vacas sem cria ao pé

*Novilhas* – para a concepção em novilhas foi adaptado o método descrito por Tess & Kolstad (2000), no qual a

idade à puberdade (IPUB) e a probabilidade de concepção (PCON) são entradas do modelo. Novilhas que crescem conforme, ou mais que sua curva normal de crescimento atingem a puberdade quando sua idade é igual à IPUB. Para novilhas com desenvolvimento abaixo da curva normal de crescimento, a puberdade ocorre quando atingem o peso à puberdade (PPUB, entrada no modelo) e, para isso, foi usada outra entrada do modelo, a taxa de ganho de peso (GMD) e PER. As novilhas que atingem PUB, independentemente se por peso ou idade, concebem segundo a PCON em 1 dos 21 dias do ciclo estral usando um GNA com distribuição uniforme (Freitas Filho, 2001). Se a novilha não conceber nos primeiros 21 dias, terá nova chance no próximo cio, entre os dias 21 e 42 a contar da puberdade, ou seja, no segundo ciclo estral, e assim por diante até que seja limitada pela duração da estação reprodutiva;

*Vacas sem cria ao pé* – as vacas sem cria ao pé têm a possibilidade de conceber, de acordo com a PCON, conforme descrito para as novilhas, mas não dependem da IPUB e PPUB, por já serem púberes, portanto a aleatorização passa a ser feita a partir do IER;

*Data da concepção (DCON)* - para vacas paridas, a data de concepção é igual a DPAR mais o IPC. Para novilhas, a data de concepção depende de como esse animal atinge a PUB, se por idade ou peso. A partir do momento em que o animal atinge a PUB, será aleatorizado um dia para a CON, dentro de um ciclo estral (21 dias) pelo uso de um GNA com distribuição uniforme (Freitas Filho, 2001). Este mesmo método será aplicado para vacas sem cria ao pé, que não dependem da IPUB e PPUB, portanto a aleatorização passa a ser feita a partir do IER para essa categoria;

*Número total de matrizes em reprodução* – somatório das vacas com cria ao pé, novilhas de reposição e vacas vazias. As vacas vazias podem não existir se o sistema adotar o descarte de vacas vazias no diagnóstico; nesse caso, se o número de novilhas não for suficiente para reposição, o plantel sofrerá redução ou será necessária a compra de matrizes e o número de fêmeas compradas será um dado de entrada do modelo;

*Estação reprodutiva (ER)* – a estação reprodutiva é delimitada pelas entradas IER e FER ou IER e pela duração da estação reprodutiva; neste último caso, o modelo calcula a data do FER. Esse sistema é adotado tanto para vacas adultas quanto para novilhas. Como o modelo trata separadamente a estação reprodutiva de novilhas e de vacas adultas, a estação reprodutiva para novilhas e vacas pode ter diferentes épocas e durações. As entradas no modelo são independentes para novilhas e vacas;

*Duração da gestação* – se o usuário não inserir o período de gestação, o modelo assumirá que o período tem

distribuição normal com média de 282 dias e desvio-padrão de dois dias;

*Data do nascimento/parto* – para o primeiro ano, a data de nascimento/parto é uma entrada no modelo obtida por meio do relatório de parição ou de uma projeção a partir da data média do parto, conforme descrito no item *Relatório de parição*. Para os anos posteriores, ver em saídas;

*Peso ao nascimento (PN)* – se o modelo for executado a partir da leitura do relatório de parição, para o primeiro ano, é usado o PN lido no relatório. Para os anos subsequentes e/ou no caso de o modelo não ler o relatório e, ainda, no caso de novilhas e vacas sem cria ao pé, o PN será entrada no modelo com valor estimado médio, definido pelo usuário, para cada ano da simulação. Esses valores serão gerados aleatoriamente com distribuição normal, com média igual à entrada PN e desvio-padrão de 10% em relação à média;

*Taxa de natalidade* – os dados gerados pela equação incluem concepção e foram obtidos a partir do parto subsequente (Osoro & Wright, 1992). Portanto, a taxa percentual de natalidade será igual ao total de vacas expostas à reprodução, dividido pelo número de vacas que conceberam, multiplicado por 100;

*Número de bezerros nascidos* – é calculado multiplicando-se o total de fêmeas expostas à reprodução pela taxa de natalidade (%); e

*GMDND* – é gerado aleatoriamente para cada bezerro, com distribuição normal, de média igual ao valor de entrada para essa variável (entrada no modelo) e desvio-padrão de 0,1 kg.

*Dados de entradas definidos pelo usuário:*

*Referentes às novilhas:* as entradas definidas pelo usuário referente às novilhas são: PPUB, em kg, de acordo com a genética utilizada; PCON, em %, valor estimado da taxa de concepção (%) de acordo com as metas estabelecidas pelo usuário ou, ainda, referentes às médias históricas da propriedade; IPUB, em dias, idade à puberdade conforme genética utilizada; PER, em kg, peso vivo ao início da estação reprodutiva, lido do relatório gerado pelo programa RURAL FAZPEC ou gerado aleatoriamente para cada novilha, com distribuição normal, de média igual ao valor de entrada para essa variável (entrada no modelo) e desvio-padrão de 20 kg.; GMD, em kg/animal/dia, taxa de ganho médio estimado para o período; NNOV, número de novilhas, caso não seja feita a leitura do relatório.

*Gerai:* as entradas de caráter geral definidas pelo usuário são: IER – data de início da estação reprodutiva; FER – data do término da estação reprodutiva; duração da estação reprodutiva, em dias, número de dias de duração da estação reprodutiva, entrar com esse período que o

modelo calcula a data de término da estação reprodutiva. Essas entradas são válidas para novilhas e vacas, mas são independentes para cada categoria (ver item ER); ECCPAR, de acordo com a escala descrita; PN, em kg, para os anos subsequentes no caso dos dados serem lidos do relatório de parição, no primeiro ano, ou para os cinco anos; MORTDESM, em %, taxa de mortalidade aplicada ao total de bezerros nascidos a cada ano; TDESC, em %, percentual de matrizes descartadas anualmente; DDESM, incluir a data em que os bezerros serão desmamados, GMDND, em kg/animal/dia, estimado ou de acordo com as médias históricas da propriedade.

A composição dos dados de saída inclui a simulação para cada animal individualmente, entretanto, as saídas mostram o desempenho geral do rebanho, com índices e resultados médios.

*Saídas (output):*

*Número de vacas descartadas* – conforme o percentual de descarte sobre o total de matrizes expostas à reprodução. As vacas vazias serão descartadas ou acasaladas na próxima estação reprodutiva;

*Data da concepção* – data média da concepção para novilhas, vacas paridas e vacas sem cria ao pé;

*Data de nascimento* – a data de nascimento é obtida somando o período de gestação (282 dias em média) à data de concepção, com exceção do primeiro ano, no caso de leitura direta no relatório de parição onde esse dado é fornecido. Caso contrário, a DNASC será igual à data do parto, que assume distribuição normal com média igual a entrada DPAR e desvio-padrão de 30%, limitado pelo IEP e FEP;

*Dias ao desmame* – para o primeiro ano, é calculado subtraindo a data do desmame da data do nascimento, lida no relatório de parição ou gerada pelo modelo. Para os demais anos, subtrai-se a data do desmame (entrada no modelo) da data de nascimento calculada pelo modelo;

*Peso ao desmame* – peso ao nascimento mais o ganho de peso até o desmame, de acordo com a equação:  $PD = PN + (GMDND \times \text{número de dias ao desmame})$ , de modo que o GMDND conduzirá o resultado do PD à variação individual, visto que a variável GMDND tem caráter aleatório;

*Número de bezerros desmamados* – é igual ao número de bezerros nascidos menos a taxa de mortalidade até o desmame (entrada no modelo). Bezerros desmamados =  $((\text{Vacas expostas à reprodução} \times (TN/100)) \times ((100 - \text{Taxa de mortalidade})/100))$ ;

*Número de vacas paridas* – é o número de vacas expostas à reprodução multiplicado pela TN; será igual ao número de bezerros nascidos. Vacas paridas =  $\text{vacas expostas à reprodução} \times (TN/100)$ ; e

*kg de bezerro desmamado/vaca/ano* – índice usado para avaliar a eficiência reprodutiva em rebanhos de corte. De acordo com Gregory & Rocha (2004), a eficiência reprodutiva das vacas é medida tomando-se o número de animais expostos à reprodução e o número de bezerras desmamados. Dessa forma consideram-se as taxas de prenhez, de natalidade, de desmame e de mortalidade até o desmame. Entretanto, utilizando-se *kg de bezerro desmamado/vaca/ano* consideram-se, também, peso ao desmame, peso ao nascimento e ganho médio até o desmame. Por isso, esse índice pode ser considerado o melhor indicador do desempenho reprodutivo. Portanto, *kg de bezerro desmamado/vaca/ano* é o total de *kg de bezerro desmamado* no ano dividido pelo total de matrizes expostas à reprodução na estação reprodutiva correspondente ao ano anterior.

## Resultados e Discussão

O escore de condição corporal foi adotado neste trabalho por ser uma medida de fácil obtenção. Embora a gordura corporal seja apenas um indicador de características de alguns dos mecanismos que controlam o recomeço da atividade estral e, portanto, não é um efeito direto de controle desses mecanismos, seu uso se justifica pela falta de um melhor preditor em nível de campo, além do fato de o ECC ser recomendado como parte do manejo reprodutivo (Tess & Kolstad, 2000). O peso vivo do animal é um indicador limitado para esse contexto por ter grande variabilidade entre raças e até mesmo entre rebanhos, além de ser uma medida que necessita de infraestrutura e deslocamento dos animais para ser aferida. Lake et al. (2005) ressaltaram que o ECC é um indicador das reservas de energia na forma de tecido muscular e/ou adiposo que pode ser usado para suportar os processos fisiológicos durante períodos de aumento da demanda metabólica. O acúmulo de gordura corporal ocorre quando a ingestão de nutrientes é maior que as exigências para manutenção e produção (Wettemann & Bossis, 1999; Lake et al., 2004) e a mobilização quando os animais se encontram em balanço energético negativo (Lake et al., 2004), ou seja, quando a ingestão de energia é menor que a demanda. O ECC ainda é mencionado ao parto como o principal fator determinante do intervalo parto – primeiro cio e taxa de prenhez em vacas multíparas (Richardset al., 1986; Selk et al., 1988; Spitzer et al., 1995; Lake et al., 2005) e um confiável indicador do desempenho reprodutivo pós-parto em primíparas (Wettemann & Bossis, 1999; Morrison et al., 1999; DeRouen et al., 1994).

As simulações feitas a partir do modelo permitem avaliar o desempenho reprodutivo do rebanho e estratégias adotadas no manejo referentes à reprodução. Por exemplo,

é possível visualizar o desempenho das matrizes conforme ECCPAR. Com essa informação, pode-se monitorar as vacas no intuito de que atinjam um ECCPAR que aumente o desempenho reprodutivo, uma vez que o ECCPAR tem mostrado relação com o retorno do ciclo estral seguinte ao parto e ao anestro nutricionalmente induzido (Randel, 1990; Short et al., 1990; Spitzer et al., 1995). Short et al. (1990) indicam que o ECCPAR é o maior determinante do intervalo de anestro pós-parto e que vacas com ótimo ECC (5, escala de 1 a 9 ou valor 3 na escala de 1 a 5) apresentam intervalo de anestro pós-parto menor que o de vacas em pior ECC. Ainda nesse sentido, Morrison et al. (1999) afirmaram que a ECCPAR é provavelmente o determinante mais importante da produção de bezerras em vacas de corte adultas. Esses mesmos autores demonstraram que vacas que chegam ao parto com ECC igual a 5 (escala de 1 a 9) têm mesmo desempenho reprodutivo, independentemente do ECC anterior ao parto. Com base no exposto acima, foi adotado, para vacas com cria ao pé, o ECCPAR como fator determinante da concepção pós-parto e do IPC.

A adoção de um padrão quadrático de resposta para a relação ECCPAR e IPC baseou-se no conhecimento empírico e na equação gerada a partir dos dados de Osoro & Wright (1992), utilizados no modelo, e suportados pelos dados de DeRouen et al. (1994) (Figura 3). Shafer et al. (2007) descreveram que os modelos devem ser compostos de níveis reais de variabilidade e que as respostas nem sempre são lineares, como ocorre na relação intervalo pós-parto e gordura corporal, na qual há um segmento da curva que não é linear, pois não há ganho com o acréscimo de gordura corporal. Esse seria o ponto crítico no qual o intervalo pós-parto volta a ser mais longo à medida que o ECC é aumentado. O IPC simulado pelo modelo para uma vaca com ECCPAR 3 é de 87 dias, o que praticamente garante o objetivo de produção de um parto por ano. Esse valor de IPC está de acordo com os encontrados por Morrison et al. (1999) que foi de 87 dias para vacas com ECCPAR entre 5 e 6 e Richards et al. (1986), que encontraram 84 dias para vacas com ECC > 5 (escala de 1 a 9, em que 5 corresponde a 3 em uma escala de 1 a 5). De acordo com Lalman et al. (1997), o ECC está relacionado à primeira fase luteal normal e ECCPAR foi o melhor indicador do intervalo pós-parto. Esses autores relataram que, para cada unidade de aumento no ECCPAR, o intervalo pós-parto reduz em 28 dias. Nesse caso, a resposta é linear, ao contrário da resposta quadrática assumida no modelo em estudo. Segundo Dunn & Kaltenbach (1980), o intervalo do parto até o primeiro cio em vacas de corte amamentando varia de 46 a 168 dias. Os dados gerados pela equação de regressão referentes à relação entre ECCPAR e IPC têm como valores

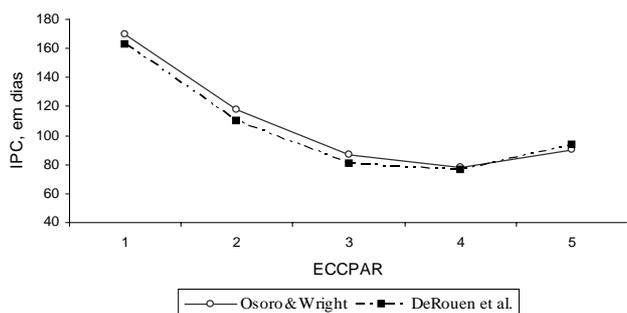


Figura 3 - Curva de resposta do IPC de acordo com o ECCPAR (Osoro & Wright, 1992; DeRouen et al., 1994).

máximo e mínimo 170 e 78, respectivamente, considerando estes valores como médios. No entanto, no modelo esses valores podem sofrer variações, para mais ou para menos, de acordo com o desvio-padrão imposto para essa variável, de 5 dias. Ressalta-se que o valor de mínima de 46 dias (Dunn & Kaltentbach, 1980) refere-se ao primeiro cio pós-parto, enquanto no modelo em estudo os valores referem-se à concepção. Ainda assim, o valor de mínima do modelo é de 78 dias e pode ser considerado um pouco elevado, podendo constituir um fator limitante do modelo, apesar de suportado por outros estudos (Lalman et al., 1997; Morrison et al., 1999; Loooper et al., 2003).

Existem autores que destacam a importância das flutuações no ECC pós-parto (Ciccioli et al., 2003; Lalman et al., 1997; Perry et al., 1991; Vizcarra et al., 1998) e na ingestão de energia pré e/ou pós-parto (Wiltbank et al., 1962) no desempenho reprodutivo. No entanto, Lalman et al. (1997) ressaltaram que, quando vacas primíparas passam por balanço energético negativo no período pré-parto, o ECCPAR passa a ser o fator mais importante na determinação da duração do período de anestro pós-parto. Ainda em relação ao período pré-parto, Morrison et al. (1999) demonstraram que vacas com distintos ECC (4, 5 e 6) no pré-parto, mas que atingiram o mesmo ECC ao parto (5), tiveram o mesmo desempenho reprodutivo. Nesse trabalho, os autores testaram as condições de perda, manutenção e ganho de ECC até o parto e não encontraram diferenças nas variáveis reprodutivas. Essa informação é relevante para o modelo desenvolvido, uma vez que ele não considera essas flutuações de ECC no período pré e/ou pós-parto, o que pode – apesar do embasamento bibliográfico favorável a essa decisão – ser considerado uma limitação do modelo. Há trabalhos, no entanto, em que os autores consideraram diferentes ECCPAR, como o de Lake et al. (2005), no qual as vacas chegaram ao parto com ECC de 4 ou 6 (escala de 1 a 9),

embora não tenham sido encontradas diferenças nas taxas de concepção ao primeiro serviço, a taxa de prenhez total foi maior nas vacas com ECCPAR 6. Nesse contexto, DeRouen et al. (1994) dizem que as mudanças de PV e ECC no período pré-parto têm menos influência que o ECCPAR no subsequente desempenho reprodutivo. Os resultados de DeRouen et al. (1994), Morrison et al. (1999) e Lake et al. (2005), de certa forma, validam o uso do ECCPAR como um bom indicador do desempenho reprodutivo pós-parto e balizaram a decisão de usar o ECCPAR como fator determinante desse desempenho. Além disso, as questões relacionadas à facilidade de aferição do ECC a campo, como já destacado anteriormente, contribuíram para a decisão tomada neste estudo.

Outra informação importante gerada pelo modelo e relacionada ao IPC, e conseqüentemente ao ECCPAR, é a DCON. No caso de a simulação mostrar uma DCON tardia, duas medidas podem ser adotadas: 1) se em tempo hábil, modificar o plano nutricional para que as vacas possam chegar ao parto com ECC adequado, isso também é válido para novilhas abaixo da CCRES. De acordo com Spitzer et al. (1995), a ingestão de nutrientes ao final da gestação e do pós-parto pode ser manipulada para que as vacas apresentem ECC específicos que assegurem desempenho reprodutivo desejável; 2) no caso de não haver mais tempo para que, isoladamente, um ajuste no plano nutricional traga respostas satisfatórias, pode-se simular alterações nas datas de IER e FER, ou seja, modificar limites e/ou duração do período de estação reprodutiva, visando maior taxa de concepção. Werth et al. (1991) afirmaram que a estação reprodutiva pode precisar ser estendida para aumentar a taxa de prenhez e, conseqüentemente, a renda líquida. Ao realizar a simulação para tentar melhorar o desempenho aumentando o período de estação reprodutiva, ou alterando as datas de IER e FER, é possível visualizar os impactos dessas mudanças no PD dos bezerros. Como as alterações na DCON têm impacto na DNASC e na idade e peso ao desmame e, ainda, na possibilidade de concepção na próxima estação reprodutiva – visto que as matrizes terão um parto tardio e conseqüentemente menor tempo para conceberem novamente –, o modelo considera a concepção com base no IPC e que a concepção é limitada pela duração da estação reprodutiva.

O modelo não considera o ECCPAR um fator que determine o PN, GMDND e PD dos bezerros. Essas variáveis têm caráter estocástico baseado em médias (entradas no modelo) e desvios-padrão, para cada variável, incluídos no modelo. Embora já relatada a influência do ECCPAR no PN (Spitzer et al., 1995), esses autores não encontraram diferenças para PD. Em contraposição, Lake et al. (2005) e Ciccioli et al.

(2003) não encontraram relação entre ECCPAR e PN. Os resultados de Lake et al. (2005), Ciccio et al. (2003) e DeRouen et al. (1994) corroboram os descritos por Spitzer et al. (1995), que não encontraram relação entre ECCPAR e PD.

Uma limitação do modelo é a não-inclusão da idade da vaca como fonte de variação em variáveis como ECCPAR, PN, PD, IPC, TN e TD. Segundo Renquist et al. (2006), a idade da vaca está relacionada a PV, espessura de gordura subcutânea (ECC) e está correlacionada a taxa de prenhez, IPC, PN e PD. No entanto, decidiu-se não usar mais esta fonte de variação, uma vez que o aumento de variáveis e parâmetros de um modelo pode torná-lo de mais difícil manipulação e interpretação pelo usuário, além de aumentar também a probabilidade de propagação de erros. As diferenças encontradas no trabalho de Renquist et al. (2006), embora estatisticamente significativas, são de pequena magnitude. Por exemplo, para peso ao nascimento, a maior e menor médias encontradas para as idades, foram de 32 e 35, respectivamente. Como o modelo é executado para a maioria dessas variáveis de acordo com uma distribuição normal, com média igual ao valor de entrada no modelo e desvio-padrão incluído no modelo, essas diferenças podem ser reduzidas ou, mesmo, geradas pelo caráter aleatório dessas variáveis em cada execução do modelo.

Os efeitos de ano, de época do ano, de época de parto, de época de acasalamento, variáveis climáticas e as interações entre esses fatores não são consideradas pelo modelo. Esses fatores podem ter influência na resposta reprodutiva, no entanto, por essas mesmas justificativas, não foram incluídos no modelo. Outra questão importante é o momento da avaliação do ECC. Segundo Moraes et al. (2007), o momento ideal para avaliar o ECC é a partir do 60 dias pós-parto, pois existe variação do ECC do parto até os 60 dias pós-parto (Moraes & Jaume, 2000; Godoy et al., 2004). No entanto no trabalho de Moraes & Jaume (2000) no qual o ECC foi avaliado por sete semanas pós-parto, houve variação até a quinta semana e essa variação foi de apenas 0,5 pontos (escala de 1 a 5) com posterior estabilização do ECC. Da mesma forma, no trabalho de Godoy et al. (2004) com vacas sem suplementação no período do parto aos 112 dias pós-parto, houve variação de 0,5 pontos (escala de 1 a 9); como a escala é diferente, essa variação é ainda menor, já que corresponderia a uma variação de 0,25 na escala de 1 a 5. Ruas et al. (2000) não encontraram variação no ECC do parto até os 105 dias pós-parto em vacas mantidas em pastagem formadas predominantemente por capim-jaraguá (*Hyparrhenia rufa* spp.). O fundamental é que no período pós-parto, as vacas, com maior exigência de lactação e ainda com necessidade de retornar a ciclicidade normal, devem ter suas exigências plenamente atendidas para que

não percam ECC e, assim, garantam bom desempenho reprodutivo.

No futuro desenvolvimento do modelo, pode-se incluir alguns dos fatores citados acima ou mesmo fazer algumas modificações, como inserir o ECC 60 a 80 dias pós-parto ou, ainda, substituir o ECC ao parto pelo ECC 60 a 80 dias pós-parto.

Ressalta-se que as simulações podem ser feitas a partir de dados reais (a partir de um relatório) ou estimativas (entradas no modelo) visando testar estratégias no intuito de alterar respostas do sistema e, então, tomar a decisão. Outro tópico que merece destaque é a maneira como o modelo executa a simulação. Os dados de entrada são considerados individualmente para cada animal, no entanto, os dados de saída são produzidos para o rebanho, ou seja, médias incluindo todas as fêmeas acasaladas.

## Conclusões

O desenvolvimento do modelo contribui para maior compreensão do sistema estudado e permite a simulação do desempenho reprodutivo de vacas de corte a partir do escore de condição corporal ao parto. O uso do modelo para fins de apoio à tomada de decisão depende das próximas etapas do trabalho que dizem respeito a verificação, calibração e validação do modelo. Há extrema carência de dados produtivos e/ou econômicos para uso nas diversas etapas do desenvolvimento do modelo em estudo, principalmente dados de sistemas reais de produção, pela ausência de registros/controles zootécnicos e econômicos, o que limita o avanço da ferramenta modelagem e, principalmente, o controle efetivo dos sistemas de produção.

## Literatura Citada

- CICCIOLI, N.H.; WETTEMANN, R.P.; SPICER, L.J. et al. Influence of body condition at calving and postpartum nutrition on endocrine function and reproductive performance of primiparous beef cows. **Journal of Animal Science**, v.81, p.3107-3120, 2003.
- DeROUEN, S.M.; FRANKE, D.E.; MORRISON, D.G. et al. Prepartum body condition and weight influences on reproductive performance of first-calf beef cows. **Journal of Animal Science**, v.72, p.1119-1125, 1994.
- DUNN, T.G.; KALTENBACH, C.C. Nutrition and postpartum interval of the ewe, sow and cow. **Journal of Animal Science**, v.51, p.29, 1980 (suppl. 2).
- FIALHO, F.B. Sistemas de apoio à decisão na produção de suínos e aves. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36., 1999, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1999. p.307-317.
- FREITAS FILHO, P.J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas, com aplicações em arena**. Florianópolis: Visual Books, 2001. 322p

- GODOY, M.M.; ALVES, J.B.; MONTEIRO, A.L.G. et al. Parâmetros reprodutivo e metabólico de vacas da raça Guzerá suplementadas no pré e pós-parto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.1, p.103-111, 2004.
- GREGORY, R.M.; ROCHA, D.C. Protocolos de sincronização e indução de estros em vacas de corte no Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE REPRODUÇÃO ANIMAL APLICADA, 1., 2004, Londrina. **Anais...** Londrina, 2004. p.246.
- HESS, B.W.; LAKE, S.L.; SCHOLLJEGERDES, E.J. et al. Nutritional controls of beef cow reproduction. **Journal of Animal Science**, v.83, p.E90-E106, 2005 (suppl.).
- LAKE, S.L.; HESS, B.W.; RULE, D.C. et al. Effects of supplemental high-linoleate or high-oleate safflower seeds on adipose tissue fatty acids, apparent mobilization, and potential uptake and storage in postpartum cows. **Proceedings...** Western Section, American Society of Animal Science, 2004. v.55, p.29-35.
- LAKE, S.L.; SCHOLLJEGERDES, E.J.; ATKINSON, R.L. et al. Body condition score at parturition and postpartum supplemental fat effects on cow and calf performance. **Journal of Animal Science**, v.83, p.2908-2917, 2005.
- LALMAN, D.L.; KEISLER, D.H.; WILLIAMS, J.E. et al. Influence of postpartum weight and body condition change on duration of anestrus by undernourished suckled beef heifers. **Journal of Animal Science**, v.75, p.2003-2008, 1997.
- LOOPER, M.L.; LENTS, C.A.; WETTEMANN, R.P. Body condition at parturition and postpartum weight changes do not influence the incidence of short-lived corpora lutea in postpartum beef cows. **Journal of Animal Science**, v.81, p.2390-2394, 2003.
- LOVATTO P.A. Princípios de modelagem e sua aplicação no estudo de cadeias de produção agrícola. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40., 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2003. (CD-ROM).
- LOVATTO, P.A.; SAUVANT, D. Modelagem aplicada aos processos digestivos e metabólicos do suíno. **Ciência Rural**, v.31, n.4, 2001.
- MORAES, J.C.F.; JAUME, C.M. A condição corporal como indicativo da atividade ovariana de vacas de corte criadas sob condições extensivas nas primeiras semanas pós-parto. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2000. (Boletim de pesquisa, 20).
- MORAES, J.C.F.; JAUME C.M.; SOUZA C.J.H. [2005]. **Controle da reprodução em bovinos de corte**. Bagé: Embrapa Pecuária Sul (Comunicado técnico, 58). Disponível em: <<http://www.cppsul.embrapa.br/public/index.php>> Acesso em: 13/8/2007.
- MORAES, J.C.F.; JAUME, C.M.; SOUZA, C.J.H. Manejo reprodutivo da vaca de corte. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v.31, n.2, p.160-166, 2007.
- MORRISON, D.G.; SPITZER, J.C.; PERKINS, J.L. Influence of prepartum body condition score change on reproduction in multiparous beef cows calving in moderate body condition. **Journal of Animal Science**, v.77, p.1048-1054, 1999.
- OSORO, K.; WRIGHT, I.A. The effect of body condition, live weight, breed, age, calf performance and calving date on reproductive performance of spring calving beef cows. **Journal of Animal Science**, v.70, p.1661-1666, 1992.
- PERRY, R.C.; CORAH, L.R.; COCHRAN, R.C. et al. Influence of dietary energy on follicular development, serum gonadotropins, and first postpartum ovulation in suckled beef cows. **Journal of Animal Science**, v.69, p.3762-3773, 1991.
- RANDEL, R.D. Nutrition and rebreeding in cattle. **Journal of Animal Science**, v.68, p.853-862, 1990.
- RENQUIST, B.J.; OLTJEN, J.W.; SAINZ, R.D. et al. Relationship between body condition score and production of multiparous beef cows. **Livestock Science** v.104, p.147-155, 2006.
- RICHARDS, M.W.; SPITZER, J.C.; WARNER, M.B. Effect of varying levels of postpartum nutrition and body condition at calving on subsequent reproductive performance in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.62, n.2, p.300-306, 1986.
- RUAS, J.R.M.; TORRES, C.A.A.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Efeito da suplementação protéica a pasto sobre consumo de forragens, ganho de peso e condição corporal, em vacas Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.3, p.930-934, 2000.
- RUTTER, L.M.; RANDEL, R.D. Post-partum nutrient intake and body condition effect on pituitary function and onset of estrous in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.58, n.2, p.265-273, 1984.
- SELK, G.E.; WETTEMANN, R.P.; LUSBY, K.S. et al. Relationships among weight change, body condition and reproductive performance of range beef cows. **Journal of Animal Science**, v.66, p.3153-3159, 1988.
- SHAFER, W.R.; BOURDON, R.M.; ENNS, R.M. Simulation of cow-calf production with and without realistic levels of variability. **Journal of Animal Science**, v.85, p.332-340, 2007.
- SHORT, R.E.; BELLOWS, R.A.; STAIGMILLER, R.B. et al. Physiological mechanisms controlling anestrous and infertility in post partum beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.68, p.799-816, 1990.
- SIGTECH TECNOLOGIA EM GESTÃO E UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS - UFPEL. [2005]. **Rural Fazpec – software de gestão em pecuária**. Disponível em: <<http://www.aphnet.com.br>> <<http://www.ufpel.edu.br/nupeec>>. Acesso em: 15/10/2007.
- SPITZER, J.C.; MORRISON, D.G.; WETTEMANN, R.P. et al. Reproductive responses and calf birth and weaning weights as affected by body condition at parturition and postpartum weight gain in primiparous cows. **Journal of Animal Science**, v.73, p.1251-1257, 1995.
- TESS, M.W.; KOLSTAD, B.W. Simulation of cow-calf production system in a range environment: II. Model development. **Journal of Animal Science**, v.78, p.1159-1169, 2000.
- VIZCARRA, J.A.; WETTEMANN, R.P.; SPITZER, J.C. et al. Body condition at parturition and postpartum weight gain influence luteal activity and concentrations of glucose, insulin, and nonesterified fatty acids in plasma of primiparous beef cows. **Journal of Animal Science**, v.76, p.927-936, 1998.
- WERTH, L.A.; AZZAM, S.M.; NIELSEN, M.K. et al. Use of a simulation model to evaluate the influence of reproductive performance and management decisions on net income in beef production. **Journal of Animal Science**, v.69, p.4710-4721, 1991.
- WETTEMANN, R.P.; BOSSIS, I. **Energy intake regulates ovarian function in beef cattle**. Indianápolis: American Society of Animal Science, 1999. 10p.
- WILTBANK, J.N. Research needs in beef cattle reproduction. **Journal of Animal Science**, v.31, p.755-762, 1970.
- WILTBANK, J.N.; ROWDEN, W.W.; INGALLS, J.E. et al. Effect of energy level on reproductive phenomena of mature Hereford cows. **Journal of Animal Science**, v.21, p.219-225, 1962.