


**BASES CONCEITUAIS DA BOVINOCULTURA LEITEIRA: RAÇAS, CURVAS DE LACTAÇÃO E MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS À PRODUÇÃO DE LEITE**

**CONCEPTUAL BASES OF DAIRY CATTLE FARMING: BREEDS, LACTATION CURVES, AND MATHEMATICAL MODELS APPLIED TO MILK PRODUCTION**

**FUNDAMENTOS CONCEPTUALES DE LA GANADERÍA LECHERA: RAZAS, CURVAS DE LACTANCIA Y MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS A LA PRODUCCIÓN DE LECHE**

 <https://doi.org/10.56238/arev8n5-077>

**Data de submissão:** 19/04/2026

**Data de publicação:** 19/05/2026

**Sued Felipe Lacerda Barjud**

Doutor em Zootecnia Tropical

Instituição: Universidade Federal do Piauí (UFPI) - Campus Professora Cinobelina Elvas

Orcid: 0000-0001- 8041-071X

**Severino Cavalcante de Sousa Júnior**

Professor Doutor

Instituição: Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Universidade Federal do Piauí (UFPI)

Orcid: 0000-0002-8806-1179

**Karina Rodrigues dos Santos**

Professora Doutora

Instituição: Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Universidade Federal do Piauí (UFPI)

Orcid: 0000-0003-2872-0002

**Sinevaldo Gonçalves de Moura**

Professor Doutor

Instituição: Universidade Federal do Piauí (UFPI) - Campus Professora Cinobelina Elvas

Orcid: 0000-0001-7595-902X

**Joashlenny Alves de Oliveira**

Professora Doutora

Instituição: Livestock Solutions, INEAGRO, Universidade Federal do Piauí (UFPI)

Orcid: 0000-0001-7249-5047

**Amauri Felipe Evangelista**

Professor Doutor

Instituição: Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Campos Belos

Orcid: 0000-0003-3442-3514

**José Pires de Carvalho Neto**

Doutor

**Josival Araújo Pereira**

Graduando em Engenharia Agrônômica

Instituição: Universidade Federal do Piauí (UFPI) - Campus Professora Cinobelina Elvas

**João Pedro de Carvalho Ribeiro Bueno**

Graduando em Engenharia Agrônômica

Instituição: Universidade Federal do Piauí (UFPI) - Campus Professora Cinobelina Elvas

---

## RESUMO

Este capítulo de revisão apresenta um panorama da bovinocultura leiteira no Brasil, destacando sua evolução histórica, relevância socioeconômica e importância no contexto agropecuário nacional. São abordadas as principais raças utilizadas na produção leiteira – Holandesa, Gir e Girolando – com ênfase em suas características zootécnicas, adaptabilidade e papel nos sistemas de cruzamentos. Além disso, discute-se a curva de lactação como parâmetro essencial para compreender o desempenho produtivo das vacas leiteiras, relacionando fatores genéticos, fisiológicos e ambientais que influenciam a persistência e o pico de produção. Por fim, apresentam-se os principais modelos matemáticos empregados na descrição das curvas de lactação, evidenciando suas contribuições para o manejo, a seleção genética e a eficiência produtiva dos rebanho.

**Palavras-chave:** Persistência da Lactação. Eficiência Produtiva. Manejo Nutricional.

## ABSTRACT

This chapter provides an overview of dairy cattle farming in Brazil, emphasizing its historical development, socioeconomic relevance, and role in the national agricultural sector. It explores the main dairy breeds – Holstein, Gir, and Girolando – highlighting their zootechnical characteristics, adaptability, and contribution to crossbreeding systems. The lactation curve is discussed as a key parameter for evaluating milk production, considering genetic, physiological, and environmental factors that influence persistence and peak yield. Finally, the chapter presents the main mathematical models used to describe lactation curves, underlining their importance for herd management, genetic selection, and production efficiency.

**Keywords:** Lactation Persistence. Productive Efficiency. Nutritional Management.

## RESUMEN

Este capítulo de revisión presenta una visión general de la ganadería lechera en Brasil, destacando su evolución histórica, relevancia socioeconómica e importancia en el contexto agrícola nacional. Se analizan las principales razas utilizadas en la producción de leche: Holstein, Gir y Girolando, haciendo hincapié en sus características zootécnicas, adaptabilidad y papel en los sistemas de cruzamiento. Asimismo, se aborda la curva de lactancia como un parámetro esencial para comprender el desempeño productivo de las vacas lecheras, relacionando factores genéticos, fisiológicos y ambientales que influyen en la persistencia y el pico de producción. Finalmente, se presentan los principales modelos matemáticos utilizados para describir las curvas de lactancia, resaltando sus contribuciones al manejo, la selección genética y la productividad del rebaño.

**Palabras clave:** Persistencia de la Lactancia. Eficiencia Productiva. Manejo Nutricional.

## 1 INTRODUÇÃO

A bovinocultura leiteira desempenha papel estratégico no agronegócio brasileiro, sendo responsável por significativa geração de renda, emprego e segurança alimentar. O Brasil ocupa a terceira posição no ranking mundial de produção de leite, com mais de 34 bilhões de litros anuais e atividade presente em quase todos os municípios, predominando pequenas e médias propriedades rurais (BRASIL, 2025). Apesar do elevado potencial produtivo, a eficiência média dos sistemas de produção nacionais ainda se encontra abaixo da observada em países de clima temperado, em função de limitações relacionadas ao manejo, à genética dos rebanhos e às condições ambientais (LOPES et al., 2016).

A introdução de raças zebuínas e, posteriormente, de raças taurinas especializadas como a Holandesa, promoveu avanços significativos na pecuária leiteira, sobretudo por meio de programas de cruzamentos e melhoramento genético. Nesse contexto, a raça Girolando consolidou-se como base da produção nacional, por reunir rusticidade e adaptação ao clima tropical herdadas do Gir, associadas à elevada produtividade da Holandesa (CANAZA-CAYO et al., 2014; ABCG, 2025). No entanto, é imprescindível o estudo da curva de lactação de vacas cruzadas através de modelos matemáticos, pois é sabido que esta pode variar quando comparada as raças originais (Daltro et al., 2019b).

A compreensão da curva de lactação das vacas leiteiras é fundamental para avaliar a persistência, o pico produtivo e a eficiência biológica e econômica dos rebanhos, possibilitando ajustes no manejo nutricional, reprodutivo e sanitário (QUINTERO et al., 2007; GENGLER, 1996). Além disso, modelos matemáticos de lactação, como os propostos por Wood (1967), Brody (1923), Wilmink (1987) e Dijkstra (1997), vêm sendo amplamente aplicados na zootecnia para descrever o padrão produtivo e apoiar decisões de seleção genética e planejamento de sistemas leiteiros (CUNHA et al., 2010; DALTRO et al., 2021).

Diante desse cenário, este capítulo reúne os principais fundamentos teóricos relacionados à bovinocultura leiteira, abordando a importância do setor no Brasil, as características das principais raças utilizadas, os fatores que influenciam a curva de lactação e os modelos matemáticos aplicados à produção de leite.

## 2 PANORAMA DA BOVINOCULTURA LEITEIRA NO BRASIL

A produção de bovinos no Brasil teve início com os portugueses, por volta do século XVI. O manejo extensivo foi o sistema de criação adotado e, ainda hoje, continua sendo tradicionalmente praticado pelos produtores. Esse sistema de criação é caracterizado pela utilização de grandes extensões de áreas de pasto e pouca ou nenhuma tecnologia. Condições favoráveis na região

Nordeste, como o cultivo da cana-de-açúcar e o desenvolvimento de tecnologias no campo, impulsionaram o crescimento da bovinocultura de corte ao longo dos anos (TEIXEIRA; HESPANHOL, 2014).

Atualmente, a bovinocultura de corte e de leite possui grande relevância para os mercados interno e externo. Desde a colonização, a expansão das áreas urbanas contribuiu para o aumento do consumo desses produtos. A introdução do gado zebu no Brasil Central foi uma das grandes contribuições para a revolução da pecuária bovina no país, aprimorando a genética do rebanho. Após a introdução do gado zebuino, técnicas como fecundação *in vitro*, produção de embriões e clonagem, entre outras, foram desenvolvidas e utilizadas para a disseminação dessas raças (CARVALHO et al., 2023). Pesquisas foram realizadas para aperfeiçoar características genéticas por meio de cruzamentos entre diversas raças, resultando em ganhos em rusticidade, resistência a doenças e parasitas, desempenho, eficiência e qualidade.

A bovinocultura de leite é um dos setores de grande importância, tanto econômica quanto social, sendo um dos pilares do setor agropecuário, pois movimenta a economia em diversas regiões do país e apresenta uma pluralidade inerente aos diferentes climas, biomas e costumes. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de leite, com mais de 34 bilhões de litros por ano, sendo a produção registrada em 98% dos municípios brasileiros, com predominância de pequenas e médias propriedades (BRASIL, 2025). No país, não há um padrão único no sistema de produção, mas ainda assim, o setor possui grande potencial de crescimento. As regiões Sul e Sudeste são as que apresentam os maiores índices de produção, mas a atividade leiteira ocorre em todo o território nacional brasileiro. A captação formal de leite alcançou 6,48 bilhões de litros no primeiro trimestre de 2025, representando um crescimento de 4,3% na captação diária de leite em relação ao ano de 2024 (IBGE, 2025). A criação dos rebanhos é predominantemente realizada a pasto, pois esse sistema é o mais econômico, impactando diretamente os custos de produção, e as pastagens são a principal fonte de nutrientes para os animais (SILVA et al., 2008). Contudo, o Brasil detém o maior rebanho bovino comercial do mundo, composto principalmente por raças zebuínas (*Bos indicus*), que, por sua vez, apresentam um potencial genético de produção inferior ao dos animais de origem taurina (*Bos taurus*).

O leite de vaca é o tipo mais produzido globalmente, com uma produção anual de aproximadamente 860 milhões de toneladas. O Brasil ocupa a quinta colocação no ranking dos países que mais produzem leite no mundo (FAO, 2025). O aumento do rebanho bovino ao longo dos anos, em escala global, contribuiu para a elevação da produção mundial de leite, uma vez que essa atividade demanda constante expansão (ÖRS; OĞUZ, 2019). No Brasil, a ampla diversidade geográfica favorece a adaptação dos sistemas de produção às diferentes realidades climáticas e econômicas do

país.

O desempenho produtivo e reprodutivo de vacas leiteiras no Brasil ainda é considerado baixo, principalmente devido às condições climáticas (tropical e subtropical), quando comparado a países de clima temperado, como Estados Unidos, Holanda e Canadá. Apesar dos avanços tecnológicos e dos ganhos genéticos ao longo dos anos, a produtividade leiteira ainda é considerada insatisfatória (LOPES et al., 2016), em razão da baixa eficiência nos processos de produção, das deficiências no manejo dos animais e da qualidade genética limitada dos rebanhos. Diante disso, para melhorar os índices produtivos, os produtores têm recorrido à melhoria das práticas de manejo, à utilização de animais geneticamente superiores e à adoção de cruzamentos estratégicos.

## 2.1 RAÇAS MAIS EXPLORADAS PARA A PRODUÇÃO DE LEITE

### 2.1.1 Holandesa

A raça Holandesa (Holstein-Friesian) é de origem europeia, sendo reconhecida mundialmente pela alta produção de leite. Devido a essa característica e longos períodos de lactação, diversos países importaram animais dessa raça na forma de animais puros para a produção ou para cruzamentos com raças mais adaptadas ao clima local (FREITAS et al., 2004). Estima-se que tenha sido domesticada há aproximadamente 2.000 anos nas terras planas e pantanosas da Holanda Setentrional e da Frísia (Países Baixos), bem como na Frísia Oriental (Alemanha). No entanto, há apenas suspeitas sobre sua origem exata, não havendo plena certeza quanto a esses relatos (ABCBRH, 2025).

Esta raça é conhecida por sua capacidade de produzir grandes volumes de leite. Os animais apresentam características como docilidade, grande porte, pelagem preta e branca ou vermelha e branca, alta produtividade, boa longevidade e fertilidade quando bem manejados. Trata-se de um *Bos taurus taurus* altamente especializado na produção de leite em volume (AUGUSTO, 2023), amplamente utilizado em programas de melhoramento genético. É uma das principais raças empregadas em cruzamentos absorventes ou na formação de raças compostas, com o objetivo de aumentar a produtividade (ARAUJO; FIUZA, 2023).

As características zootécnicas da raça Holandesa incluem diferentes variedades de pelagem. Na variedade Frísia, a pelagem é malhada de branco e preto, podendo haver predominância de uma das cores em alguns animais. Já na variedade Mosa, Reno e Yssel (vermelha e branca), observa-se predominância da coloração vermelha em regiões como pescoço e cauda, enquanto o branco se destaca no ventre, úbere e vassoura da cauda. A pele é espessa, podendo apresentar tonalidades preta e branca ou vermelha e branca. Os animais são de grande porte, dóceis, possuem boa longevidade e fertilidade, e apresentam pelagem característica nas cores preta e branca ou vermelha e branca (Figura

1).

Figura 1. Touro da raça Holandesa de pelagem preta e branca (a); vaca de pelagem vermelha e branca da raça Holandesa (b).



Fonte: Autores.

O padrão racial da Associação Brasileira de Criadores de Bovinos da Raça Holandesa (ABCBRH) estabelece que, na idade adulta (60 meses), o peso médio é de 680 kg para as fêmeas e 950 kg para os machos. A idade média para a primeira cobertura varia entre 16 e 18 meses; para o primeiro parto, entre 25 e 27 meses. O intervalo entre partos é de 15 a 17 meses, e a duração média da gestação é de 280 dias.

O gado Holandês possui maior exigência por clima frio devido à sua origem, tornando mais difícil a adaptação a climas mais quentes, como o do Brasil. A raça é amplamente utilizada como matriz em cruzamentos, para transmitir genes de alta produção para as novas linhagens. Apesar das limitações climáticas, os animais da raça Holandesa representam a maior parcela do material genético importado para o Brasil, contribuindo para a melhora dos índices de produção de leite no país.

A raça Holandesa, embora apresente características favoráveis para a produção de leite, exige condições específicas quanto ao sistema de criação e ao ambiente. Fatores como sensibilidade ao calor e a parasitas fazem com que esses animais expressem melhor seu potencial produtivo em sistemas de confinamento, que oferecem melhor controle do conforto térmico e instalações adequadas. A produção de leite diminui drasticamente nos dias mais quentes, sendo ideal uma temperatura entre 5°C e 26°C (ABCBRH, 2025). Assim, instalações com ventilação e aspersão tornam-se necessárias para garantir o máximo desempenho produtivo e reprodutivo das vacas.

Além de ser uma das principais raças responsáveis pela produção de leite no Brasil, tanto como raça pura quanto em cruzamentos com raças zebuínas, como Gir leiteiro e Guzerá, a raça Holandesa desempenha papel fundamental no aumento da produtividade leiteira (FREITAS et al., 2004).

Os objetivos dos cruzamentos são gerar animais mais produtivos por meio da combinação de

características e do vigor híbrido. Por isso, vacas Gir são cruzadas com touros Holandeses para obter melhores índices de produção de leite nos trópicos, resultando em mais de 70% da produção de leite proveniente de vacas mestiças, originárias do cruzamento entre raças taurinas e zebuínas. A ênfase desses cruzamentos está nas características de volume de leite, maturidade e duração da lactação.

### **2.1.2 Gir**

A raça Gir é originária da Índia, da Península de Katiavar, e foi introduzida no Brasil em 1906. Originalmente, era utilizada apenas para a produção de leite, mas no Brasil tornou-se, inicialmente, uma raça de dupla finalidade, para carne e leite.

O gado Gir (*Bos indicus*) é uma raça utilizada principalmente para a produção de leite em climas tropicais, sendo reconhecida como a raça zebuína de maior produtividade leiteira nessas condições (LAGROTTA et al., 2010). Por ser originária da Índia, país tropical com condições edafoclimáticas semelhantes às do Brasil, essa raça encontrou no país um ambiente propício para expressar seu potencial produtivo (ABCGIL, 2025). Devido às suas características, o Gir tornou-se uma alternativa importante para incrementar a pecuária leiteira, seja como raça pura, seja como base para diversos sistemas de cruzamento.

A raça Gir representa mais de 80% dos rebanhos leiteiros, seja como raça pura ou em cruzamentos com animais da raça Holandesa. Essa predominância se deve à capacidade dos animais de serem criados em pastagens e à sua resistência a endo e ectoparasitas, além da alta tolerância a temperaturas elevadas. A produção máxima de leite pode chegar a 14 kg por dia (PEREIRA et al., 2012). Além de fornecer genética leiteira, a raça Gir é também a base para a formação de outras raças, como a Girolanda. A produção média por lactação é de 3.745,50 kg, com 4,43% de gordura e 3,34% de proteína. O peso médio ao desmame é de 149 kg para machos e 139 kg para fêmeas, enquanto o peso adulto médio é de 272 kg para machos e 236 kg para fêmeas (ABCGIL, 2025).

O gado Gir é utilizado em programas de melhoramento do gado leiteiro, nos quais a seleção para produção é o principal critério. Entretanto, é necessário avaliar as associações com outras características e como estas respondem ao processo de seleção, pois, nas raças taurinas, sabe-se que a intensa seleção para aumento da produção de leite levou a declínios na fertilidade (LUCY, 2007).

### **2.1.3 Girolanda**

O uso de cruzamentos entre bovinos zebuínos e raças leiteiras especializadas europeias tem sido adotado para intensificar a produtividade dos sistemas de produção de leite, combinando características de resistência, como a adaptação ao clima, por exemplo. Esses animais destacam-se

progressivamente na produção de leite, especialmente devido à grande extensão territorial e às adversidades climáticas do país.

Por volta das décadas de 1940 e 1950, produtores de gado leiteiro iniciaram cruzamentos entre animais das raças Gir e Holandesa, com o objetivo de obter exemplares que combinassem a alta capacidade de produção de leite do gado Holandês com a rusticidade da raça Gir (CANAZA-CAYO et al., 2014).

No Brasil, adotaram-se os cruzamentos entre a raça Holandesa e a raça Gir, com a finalidade de aproveitar ao máximo o desempenho produtivo de ambas as raças. Com a intensificação desses cruzamentos, surgiu a raça Girolando, que apresenta características e qualidades adequadas para a produção de leite em regiões tropicais. A capacidade de adaptação e a rusticidade foram herdadas do Gir, enquanto a elevada produção de leite veio da raça Holandesa (ABCG, 2025).

De acordo com a Associação Brasileira dos Criadores da Raça, esta é responsável por 80% do leite produzido no Brasil. O Girolando é uma raça resultante do cruzamento entre o Gir, uma raça zebuína originária da Índia, e a Holandesa, conhecida por sua alta produtividade leiteira. O Gir leiteiro é uma das raças mais utilizadas pelos produtores para a produção de vacas leiteiras cruzadas. O Gir e o Holandês possuem características fenotípicas e genotípicas específicas que os diferenciam, e essas características garantem a manutenção da qualidade genética, funcionalidade e produtividade dos animais, bem como a preservação das características desejáveis nos animais registrados, conforme definido pela Associação Brasileira dos Criadores de Girolando.

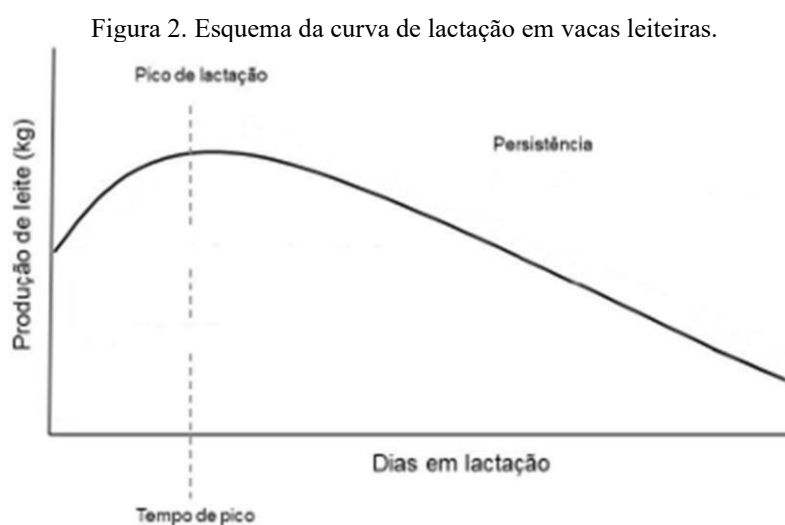
A raça Girolando é considerada essencial para o desenvolvimento do setor pecuário, pois a maior parte do leite produzido no Brasil provém de vacas dessa raça (CANAZA-CAYO, 2016). Basicamente, a combinação genética do Girolando resulta do cruzamento de 5/8 da raça Holandesa com 3/8 da raça Gir (ABCG, 2025), proporção que favorece a retenção da heterose e complementa, equilibrando as características desejáveis das duas raças.

A raça Girolando é resultado do cruzamento das raças Holandesa (H) e Gir (G), envolvendo diversos grupos genéticos, que variam de  $1/4H + 3/4G$  até  $7/8H + 1/8G$ . O direcionamento dos acasalamentos tem como objetivo a fixação do padrão racial do grupo genético  $5/8H + 3/8G$ , visando produzir um gado padronizado que atenda às necessidades dos produtores de leite brasileiros (SILVA et al., 2014).

Para combinar as características importantes de diferentes raças produtoras de leite, algumas raças mestiças vêm sendo desenvolvidas. Os cruzamentos entre raças de origens distintas são uma estratégia recomendada para aumentar a tolerância às condições ambientais adversas.

## 2.2 CURVA DE LACTAÇÃO

A produção de leite é caracterizada pela curva de lactação, que, por sua vez, é dividida em fases: a primeira é ascendente; a segunda, relativamente constante, corresponde ao pico; e a terceira é descendente, que vai do pico de lactação até o final, podendo ser representada graficamente (NEGRI, 2017; Figura 1). Entre as vantagens do estudo das curvas de lactação, destacam-se o controle da suplementação dos animais e o planejamento nutricional dos bezerros para a produção de carne, desde a lactação até a terminação (HENRIQUES et al., 2011).



Fonte: Adaptado de Negri (2017).

Os resultados da produção de leite dependem substancialmente dos manejos nutricionais e reprodutivos. Esse entendimento e as adequações necessárias são fundamentais para o conhecimento da curva de lactação, que pode ser representada graficamente pela evolução da produção de leite desde o parto até a secagem da vaca, e pode ser descrita por uma função matemática que estima o processo fisiológico do período produtivo do leite (QUINTERO et al., 2007). Nesse sentido, a produção de leite durante o período de lactação pode sofrer alterações conforme o manejo, a alimentação, os descartes e a seleção de animais com padrão desejável para a produção (FREIRE, 2020).

A representação gráfica da curva de lactação em determinado período é utilizada no desenvolvimento de modelos dinâmicos de simulação, seleção genética e predição da produção de leite a partir de registros parciais (CUNHA et al., 2010; VAL-ARREOLA et al., 2004; VANRADEN et al., 2006). Quando associada às curvas de compostos como proteínas e gorduras, essa representação estabelece uma ferramenta importante para a avaliação das respostas produtivas diante do manejo nutricional utilizado. As informações sobre curvas de lactação são essenciais na atividade leiteira,

pois auxiliam no manejo nutricional, reprodutivo, nas avaliações genéticas e na identificação de enfermidades. Além disso, fornecem dados úteis para a avaliação da eficiência biológica, econômica e genética dos animais (NADERI, 2018).

A estimativa do pico produtivo, da produção total por lactação e da persistência de lactação (PAPAJCSIK; BODERO, 1988) são características de eficiência fundamentais para a determinação e implementação dos manejos. A partir dos modelos matemáticos, é possível alcançar esses parâmetros aos 305 dias.

O pico de lactação é caracterizado pela máxima produção, geralmente ocorrendo entre 30 e 90 dias após o parto, e está altamente correlacionado com a produção total aos 305 dias (MACCIOTA et al., 2005; WILMINK, 1987; WOOD, 1967), sendo dependente da raça, manejo, entre outros fatores (MACCIOTA et al., 2005). A persistência da lactação corresponde ao período em que a vaca mantém a capacidade constante de produção de leite após o pico de lactação (GENGLER, 1996) e, de acordo com Cobuci et al. (2003), pode ser mensurada por diferentes métodos, como razões entre as produções em diferentes fases da lactação, parâmetros de funções matemáticas, variações na produção de leite no dia do controle e valores genéticos estimados via regressão aleatória.

Devido à importância do relacionamento entre o tempo e a produção no pico, na persistência e na produção total de leite, é fundamental entender como essas variáveis estão associadas. Vacas com maiores produções no pico de lactação tendem a apresentar menor persistência, enquanto maiores tempos até o pico de lactação estão altamente correlacionados com maiores persistências da lactação (TEKERLI et al., 2000). A produção total de leite é função da persistência na lactação, do pico de produção e da duração da lactação, sendo a persistência o principal componente da curva de lactação (WOOD, 1967). Nesse sentido, vale destacar que características como maior produção de leite e longevidade são observadas em vacas com maior persistência na curva de lactação, podendo ser consideradas produtoras eficientes em função do retorno econômico e do tempo de vida útil.

A curva de lactação descreve o padrão de produção de leite ao longo do ciclo lactacional e reflete as interações entre genética, fisiologia e ambiente. Em vacas Holandesas, raça especializada em alta produção, a curva caracteriza-se por um rápido aumento da produção logo após o parto, atingindo o pico entre três e oito semanas, seguido por um declínio gradual até aproximadamente o décimo mês de lactação (BONFÁ, 2012). Diversos estudos evidenciam a influência de fatores ambientais sobre esses parâmetros: Li et al. (2022) relataram que vacas Holandesas que pariram na primavera e no inverno atingiram o pico de lactação mais cedo e apresentaram maior produção total de leite, respectivamente; já Innes et al. (2024) observaram que primíparas possuem curvas mais planas e picos mais baixos do que vacas em lactações subsequentes. No Brasil, Evangelista et al.

(2024) destacaram que a ordem e a estação do parto influenciam a forma da curva de lactação, com maior produção quando os partos ocorrem entre inverno e primavera.

Em contraste, vacas zebuínas (*Bos indicus*), como as raças Gir e Guzerá, apresentam curvas de lactação distintas, geralmente caracterizadas por picos mais baixos, declínio mais suave e maior persistência ao longo do ciclo (SANTOS et al., 2019). Essa configuração está relacionada a uma menor produção potencial, porém maior adaptação às condições tropicais, resistência ao estresse térmico e parasitário, além de longevidade produtiva superior em sistemas extensivos.

As vacas cruzadas Holandês × Zebu combinam características dos dois grupos genéticos. Estudos brasileiros mostram que esses cruzamentos resultam em curvas de lactação intermediárias: os picos de produção são mais baixos do que os observados em Holandesas puras, mas superiores aos das vacas zebuínas, enquanto a persistência da lactação é maior do que a das Holandesas (COBUCI et al., 2004; VERNEQUE et al., 2019). Essa combinação – maior produção que os zebuínos e melhor adaptação que os holandeses – torna esses cruzamentos estratégicos para sistemas leiteiros em regiões tropicais, garantindo melhor eficiência produtiva sob estresse térmico e menor exigência de manejo intensivo.

### 2.3 MODELOS MATEMÁTICOS

Os modelos matemáticos, de modo geral, servem para representar partes de um todo de forma simplificada. Assim, eles não proporcionam a explicação científica em si, mas interpretam hipóteses sob um ponto de vista quantitativo, permitindo deduzir informações e, conseqüentemente, indicar quais detalhes devem ser aceitos ou rejeitados (BONFÁ, 2012).

Na literatura, vários modelos, como os propostos por Wood (1967), Brody (1923), Sikka (1950), Wilmink (1987), Rook (1993) e Dijkstra (1997), baseados em diferentes abordagens, satisfazem os pré-requisitos e apresentam resultados satisfatórios na predição de curvas de lactação. As curvas de lactação são utilizadas para modelar a produção em diversas raças e são ajustadas por meio de modelos de regressão lineares e não lineares, cada um apresentando vantagens e desvantagens do ponto de vista estatístico.

Os modelos de curva de lactação tornaram-se comuns a partir do modelo não linear de Wood (1967), embora as primeiras representações matemáticas nesse contexto tenham surgido na década de 1920, com os estudos de Brody et al. (1923) e Brody et al. (1924). Modelos não lineares foram propostos para descrever as curvas de lactação de vacas leiteiras. A curva de lactação é um comportamento característico de uma equação não linear clássica, por isso vários modelos não lineares têm sido amplamente estudados para representar essas características.

Em sistemas caracterizados por maior heterogeneidade ambiental e rebanhos com diferentes graus de sangue entre raças especializadas e adaptadas, a modelagem das curvas de lactação torna-se ainda mais desafiadora (CARVALHO et al., 2020). Por isso, diversos estudos têm sido realizados para determinar o melhor modelo nessas condições, considerando vacas com diferentes composições genéticas (DALTRO et al., 2021; RIBEIRO et al., 2012).

A avaliação correta dos modelos de curvas de lactação em diferentes grupos genéticos e ordens de parto é crucial, pois garante representações precisas da produção e orienta alterações que auxiliam no manejo e no melhoramento animal. Dessa forma, serão abordados os modelos de Wood (1967), Brody (1923), Sikka (1950), Wilmink (1987), Rook (1993) e Dijkstra (1997). O modelo de Wood (1967), baseado em uma função alométrica, é amplamente utilizado devido à sua simplicidade e interpretação direta. Esse modelo, denominado “função Gama incompleta” por alguns autores, é dado por:  $Y_t = atb \exp(-ct) + \varepsilon$ , em que,  $Y_t$  é a produção de leite no dia em lactação  $t$ ;  $a$  representa a produção de leite no início da lactação (um parâmetro desconhecido), e que tem como característica abaixar ou elevar toda a curva de lactação, não alterando seu formato geral;  $b$  também é um parâmetro desconhecido que está associado à fase de elevação da produção de leite no início da lactação;  $c$  é outro parâmetro desconhecido que está ligado à fase de declínio da produção de leite após o pico. A principal vantagem do modelo de Wood (1967) é sua interpretação biológica, que permite obter informações sobre a persistência da lactação e o pico de produção (COLDEBELLA et al., 2003; MELO et al., 2011). A primeira referência à modelagem da curva de lactação foi descrita por Brody et al. (1923). Os primeiros modelos foram caracterizados por transformações logarítmicas, funções exponenciais, polinomiais e outras funções lineares.

O modelo matemático proposto por Sikka (1950) para descrever a curva de lactação é o modelo exponencial:  $Y_t = a \cdot \exp(bs - cs^2)$  em que:  $Y_t$  = produção de leite;  $a$  = fator de escala que expressa a fase inicial da lactação;  $\exp$  = função exponencial;  $b$  = fator associado à inclinação da curva que expressa a fase ao redor do pico da lactação;  $c$  = parâmetro de estimação que define a persistência da lactação; e  $s$  = semana de lactação. Esse modelo se ajusta bem aos dados no início da lactação, mas apresenta menor precisão no final do ciclo, possivelmente porque a função exponencial se ajusta melhor ao redor do pico (SHERCHAND et al., 1995).

O modelo de Wilmink (1987) é dado por:  $Y = a + bt + c \exp(-dt) + \varepsilon$ . Segundo o autor, o parâmetro  $a$  está associado à produção inicial;  $b$  com a diminuição da produção após o pico de produção,  $c$  com aumento da produção inicial até direção ao pico e o parâmetro  $d$  representa o pico de produção. O modelo de Wilmink introduziu um componente exponencial negativo que melhora a representação do declínio tardio da produção.

O modelo de Rook et al. (1993) é dado por:  $Y = Y + YY + Y Y^2 + Y YYY(-YY) + Y$ , onde o parâmetro  $a$  representa a produção inicial;  $b$  e  $c$  modelam o crescimento e a curvatura da produção ao longo do tempo, enquanto os parâmetros  $d$  e  $e$  controlam o componente exponencial negativo responsável por modelar o declínio da lactação após o pico. Esse modelo combina elementos polinomiais e exponenciais, oferecendo maior flexibilidade para representar diferentes formas de curvas de lactação, especialmente em rebanhos com padrões de produção mais irregulares. O termo quadrático permite acomodar variações na taxa de crescimento inicial, enquanto o termo exponencial melhora a capacidade de modelar a persistência e o declínio tardio da produção. Apesar da sua complexidade, o modelo de Rook pode proporcionar ajustes mais precisos em contextos produtivos específicos, especialmente quando há interesse em representar curvas com picos bem definidos e fases distintas de crescimento e queda na produção.

O modelo mecanicista desenvolvido por Dijkstra et al. (1997) envolve a proliferação e morte das células da glândula mamária durante a gestação e lactação. Esse modelo oferece uma compreensão dos fatores que controlam a variação na produção de leite durante a lactação, aspectos geralmente não considerados pela maioria dos modelos empíricos. Ele permite o cálculo simples da posição e magnitude do rendimento máximo, embora possa estimar uma produção igual a zero no momento do parto, o que não é real (DIJKSTRA et al., 2010).

Os modelos matemáticos são avaliados por critérios de qualidade que incluem a qualidade do ajuste (capacidade de previsão), o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  ajustado), o desvio padrão residual ou a raiz do erro quadrático médio (RMSE), a estatística de Durbin-Watson (DW) e os Critérios de Informação de Akaike (AIC) (GHAVI HOSSEIN-ZADEH, 2016). Outra técnica comum para avaliar e comparar modelos é a análise dos resíduos, que consiste na diferença entre os valores observados e os valores preditos pela equação de regressão gerada pelo modelo.

## REFERÊNCIAS

ABCBRH - Associação Brasileira de Criadores de Bovinos da Raça Holandesa. Disponível em: <https://www.gadoholandes.com.br/a-raca>. Acesso em: 05 mar. 2025.

ABCG – Associação Brasileira dos Criadores do Girolando. Disponível em: [www.girolando.com.br/girolando/sobre-a-raca](http://www.girolando.com.br/girolando/sobre-a-raca). Acesso em 10 mai. 2025.

ABCGIL - Associação Brasileira dos Criadores de Gir Leiteiro. 2025. Disponível em: <http://girleiteiro.org.br/>. Acesso em: 07 abr. de 2025.

ARAÚJO, F.F.; FIUZA, I.C.S. Raça de Gado Holandês. Revista de trabalhos acadêmicos - universo Belo Horizonte, v.1, n.8, 2023.

AUGUSTO, B.S. Importância da raça holandesa na pecuária leiteira: revisão bibliográfica. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/>. Acesso em 12 jun. 2023.

BONFÁ, C.S. Modelagem da curva de lactação de vacas da raça Holandesa em diferentes ordens de parto. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2012.

BRODY, S.; TURNER, C.W.; AND RAGSDALE, A.C. The relation between the initial rise and the subsequent decline of milk secretion following parturition. *Journal of General Physiology*, v.6, p.541-545, 1924

BRODY, S.A.; RAGSDALE, A.C.; TURNER, C.W. The rate of decline of milk secretion with the advance of the period of lactation. *Journal of General Physiology*, v.5, p.441-444, 1923.

CANAZA-CAYO A.W., LOPES, P.S., SILVA, M.V.G.B., COBUCI, J.A., TORRES, R.A. MARTINS, M.F., ARBEX, W.A. Estrutura populacional da raça Girolando. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.44, n.11, p.2072-2077, 2014.

CARVALHO, V. H. S.; DO CARMO, R. B.; PINTO, S. C. C. Impacto da utilização das biotécnicas da reprodução animal e o melhoramento genético na pecuária de corte. *PUBVET*, v. 17, n. 8, e1427, 2023. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v17n8e1427>

COBUCI, J.A., EUCLYDES, R.F., PEREIRA, C.S., AMEIDA TORRES, R., COSTA, C.N., LOPES, P.S. Persistência na lactação - uma revisão. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, v.11; n.3, p.163-173, 2003.

COBUCI, J.A.; EUCLYDES, R.F.; COSTA, C.N.; LOPES, P.S.; TORRES, R.A. Avaliação da curva de lactação de vacas da raça Holandesa utilizando modelos não lineares. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.34, n.3, p.1025-1034, 2005. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000300028>.

COBUCI, J.A.; EUCLYDES, R.F.; LOPES, P.S.; COSTA, C.N.; PEREIRA, C.S.; TORRES, R.A. Estimativas de parâmetros genéticos para a curva de lactação de vacas mestiças Holandês × Zebu. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.33, n.5, p.1110-1117, 2004. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982004000500008>.

- CUNHA, D.N.F.V.; PEREIRA, J.C.; SILVA, F.F.; CAMPOS, O.F.; BRAGA, J.L.; MARTUSCELLO, J.A. Selection of models of lactation curves to use in models of milk production simulation systems. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, p.891902, 2010.
- DALTRO, D.S.; PADILHA, A.H.; GAMA, L.T. et al. Heterosis in the components of lactation curves of Girolando cows. *Italian Journal of Animal Science*, v.18, n.1, p.267-278, 2019a. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1507627>.
- DALTRO, D.S.; PADILHA, A.H.; GAMA, L.T.; SILVA, M.V.G.B.; COBUCI, J.A. Breed, 'heterosis, and recombination effects for lactation curves in Brazilian cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.50, e20200085, 2021. <https://doi.org/10.37496/rbz5020200085>
- DALTRO, D.S.; PADILHA, A.H.; SILVA, M.V.G.B. et al. Heterosis in the lactation curves of Girolando cows with emphasis on variations of the individual curves. *Journal of Applied Animal Research*, v.47, n.1, p.85-95, 2019b. <https://doi.org/10.1080/09712119.2019.1575223>.
- DALTRO, D.S.; SILVA, M.V.G.B.; GAMA, L.T. et al. Estimates of genetic and crossbreeding parameters for 305-days milk yield of Girolando cows. *Italian Journal of Animal Science*, v.19, p.86-94, 2020. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2019.1702110>.
- DIJKSTRA, J.J. France; M. S. Dhanoa, J.A. Maas, M. D. Hanigan, A. J. Rook, and D. E. Beaver. A model to describe growth patterns of the mammary gland during pregnancy and lactation. *Journal of Dairy Science*, v.80, p.2340-2354. 1997.
- DIJKSTRA, J.; LOPEZ, S.; BANNINK, S.; DHANOA, M. S.; KEBREAB, E.; ODONGO, N.E.; FATHI NASRI, M.H.; BEHERA, K.; HERNANDEZ-FERRER, D.; FRANCE, J. Evaluation of a mechanistic lactation model using cow, goat and sheep data. *Journal of Agricultural Science*, v.148, p.249-262, 2010.
- EVANGELISTA, A.F., MARTINS, R., VALOTTO, A.A., DIAS, L.T., TEIXEIRA, R.A. Fatores ambientais na predição da curva de lactação de vacas holandesas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.59(AB), e03366, 2024. Recuperado de <https://apct.sede.embrapa.br/pab/article/view/27829>
- EVANGELISTA, A.F.; PEREIRA, R.J.; LOPES, P.S.; CARNEIRO, P.L.S.; TORRES, R.A.; SILVA, M.V.G.B. Environmental factors affecting lactation curve traits of Holstein cows in Brazil. *Tropical Animal Health and Production*, v.56, n.2, p.129, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11250-024-03894-5>
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United States Nations. Dairy production and products: milk production. Rome: FAO, 2020. Recuperado 04 de maio de 2025, de <http://www.fao.org/dairy-production-products/production/en/>
- FREIRE, D.D.S. Estudo de curvas de lactação em bovinos mestiços leiteiros na região do brejo paraibano. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2020.
- GENGLER, N. Persistency of lactation yields: A review. *Proc. Int. Workshop on Genetic Improvement of functional Traits in Cattle*. *Interbull Bulletin*. v.12, p.97-102, 1996.
- GHAVI HOSSEIN-ZADEH, N. Comparison of non-linear models to describe the lactation curves for milk yield and composition in buffaloes (*Bubalus bubalis*). *Animal*, v.10, n.2, p.248-261, 2016.

HENRIQUES, L.T.; VALADARES FILHO, S.C.; FONSECA, M.A.; PAULINO, P.V.R.; DETMANN, E.; VALADARES, R.F.D. Evaluation of non-linear models and the effects of primiparous cows and calves intake on the lactation curve of Nelore cows. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, n.6, p.1287-1295. 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa trimestral do leite, 2025. Disponível em: Primeiros resultados | IBGE. Acesso em: 10 jul. 2025.

INNES, D.J.; POT, L.J.; SEYMOUR, D.J.; FRANCE, J.; DIJKSTRA, J.; DOELMAN, J.; CANT, J.P. Fitting mathematical functions to extended lactation curves and forecasting late-lactation milk yields of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.107, p.342-358, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23478>.

INNES, K.; WELLS, A.; PONTES, F.; DOHERTY, R.; KENNEDY, E. Parity impacts lactation curve shape in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.107, n.3, p.2451-2463, 2024. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23968>

LAGROTTA, M.R.; EUCLYDES, R.F.; VERNEQUE, R.S.; SANTANA JÚNIOR, M.L.S.; PEREIRA, R.J.; TORRES, R.A. Relação entre características morfológicas e produção de leite em vacas da raça Gir. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, n.4, 2010.

LI, M.; ROSA, G.J.M.; REED, K.F.; CABRERA, V.E. Investigating the effect of temporal, geographic, and management factors on US Holstein lactation curve parameters. *Journal of Dairy Science*, v.105, p.7525-7538, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2022-21882>.

LI, X.; WANG, Z.; CHEN, J.; LIU, L.; LI, Y. Seasonal effects on lactation curve and milk yield in Holstein cows under subtropical conditions. *Animals*, v.12, n.22, p.3094, 2022. <https://doi.org/10.3390/ani12223094>

LOPES, M.A.; REIS, E.M.; DEMEU, F.A.; MESQUITA, A.A.; ROCHA, A.G.; BENEDICTO, G.C. Uso de ferramentas de gestão na atividade leiteira: um estudo de caso no sul de Minas Gerais. *Revista Científica de Produção Animal*, v.18, n.1, p.26-44, 2016. <http://dx.doi.org/10.5935/21764158/rcpa.v18n1p26-44>

LUCY, M.C. Fertility in high-producing dairy cows: reasons for decline and corrective strategies for sustainable improvement. *Society Reproduction and Fertility Supply*, v. 54, p.64-237, 2007.

MAPA - Ministério da Agricultura e Abastecimento. Mapa do leite, 2025. Disponível: Mapa do Leite - Ministério da Agricultura e Pecuária. Acesso: 02 jun. 2025.

NADERI, Y. Appropriate mathematical models to describe the lactation curves of milk production traits of Iranian Holstein dairy cattle. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v.40, e37895, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v40i1.37895>.

ÖRS, A.; OĞUZ, C. Comparison of economic analysis of dairy farms supported and non supported by IPARD program: a case study of Konya Province, Turkey. *Custos e Agronegócio Online*, v.15, n.2, p.192-212, 2019.

PAPAJCSIK, I.A.; BODERO, J. Modeling lactation curves of Friesian cow in a subtropical climate. *Animal Production*, v. 47, n. 2, p. 201-207, 1988.

QUINTERO, J.C.; SERNA, J.I.; HURTADO, N.A. Modelos matemáticos para curvas de lactancia en ganado lechero. *Revista Colombiana Ciencias Pecuárias*, v.20, p.149-156, 2007.

RIBEIRO, J.R. da G.; BERGMANN, J.A.G.; QUIRINO, C.R.; RUAS, J.R.M.; PEREIRA, J.C.C.; REIS, R.B.; COELHO, S.G.; SILVA, M.A. de. Environmental and genetic effects on the lactation curves of four genetic groups of crossbred Holstein-Zebu cows. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.41, n.11, p.2309-2315, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012001100002>

ROOK, A.; FRANCE, J.; BROADBENT, J. Some interpretations of lactation curve models. *Livestock Production Science*, Amsterdam, v.35, n.3-4, p.311-325, 1993. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(93\)90019-V](https://doi.org/10.1016/0301-6226(93)90019-V).

SANTOS, D.J.A.; VERNEQUE, R.S.; LOPES, P.S.; COSTA, C.N.; RIBEIRO, A.C. Lactation curve parameters and milk yield of Zebu dairy breeds in Brazil. *Animal Production Science*, v.59, n.4, p.654-662, 2019. <https://doi.org/10.1071/AN17788>

SHERCHAND, L.; McNEW, R.W.; KELLOGG, D.W. et al. Selection of a mathematical model to generate lactation curves using daily milk yields of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, v.78, p.2507-2513, 1995.

SIKKA, L.C. A study of lactation as affected by heredity and environment. *Journal of Dairy Research*, n.17, p.231-252, 1950.

SILVA, M.V.G.B. et al. Programa de Melhoramento Genético da Raça Girolando: Sumário de Touros Resultado do Teste de Progênie. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2014. 64p. (Documentos, 170).

TEIXEIRA, J.C.; HESPANHOL, A.N. A trajetória da pecuária bovina brasileira. *Caderno Prudentino de Geografia*, n.36, v.1, p.26-38, 2014.

TEKERLI, M., AKINCI, Z., DOGAN, I., AND AKCAN, A. Factors affecting the shape of lactation curves of Holstein cows from the Balikesir province of Turkey. *Journal of Dairy Science*, v.83, n.6, p.1381-1386, 2000.

VAL-ARREOLA, D.; KEBREAB, E.; DIJKSTRA, J.; FRANCE, J. Study of the lactation curve in dairy cattle on farms in Central Mexico. *Journal of Dairy Science*, v. 80, p. 3789-3799, 2004.

VANRADEN, P.M.; DEMATAWEWA, C.M.B.; PEARSON, R.E.; TOOKER, M.E. Productive life including all lactations and longer lactations with diminishing credits. *Journal of Dairy Science*, v. 89, p. 3213-3220, 2006.

VERNEQUE, R.S.; SANTOS, D.J.A.; RIBEIRO, A.C.; COBUCI, J.A.; COSTA, C.N. Genetic evaluation of crossbred Holstein × Zebu dairy cows for lactation curve traits in Brazil. *Livestock Science*, v.230, p.103841, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.103841>

WILMINK, J. B. M. Adjustment of test-day milk, fat and protein yield for age, season and stage of lactation. *Livestock Production Science*, v. 16, p. 335-348, 1987.

WOOD, P.D.P. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature*, n.216, p.164-165, 1967.