

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE MESTRADO**

**EFICIÊNCIA DO USO DE ÁGUA E DE ALIMENTOS POR
BOVINOS NELORE A PASTO E EM CONFINAMENTO**

Anny Caroline Della Vechia de Souza

Campo Grande, MS

2025

2025

EFICIÊNCIA DO USO DE ÁGUA E DE
ALIMENTOS POR BOVINOS NELORE A PASTO E
EM CONFINAMENTO

SOUZA, A. C. D. V.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE MESTRADO**

**EFICIÊNCIA DO USO DE ÁGUA E DE ALIMENTOS POR
BOVINOS NELORE A PASTO E EM CONFINAMENTO**

Correlations and differences between efficiency classes

Anny Caroline Della Vechia de Souza

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo da Costa Gomes

Coorientador: Prof. Dr. Gilberto Romeiro de Oliveira Menezes

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito à obtenção de título de Mestre em Ciência Animal.

Área de concentração: Produção Animal.

Campo Grande, MS 2025



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



Certificado de aprovação

Anny Caroline Della Vechia de Souza

**EFICIÊNCIA DO USO DE ÁGUA E DE ALIMENTOS POR BOVINOS NELORE A PASTO E EM
CONFINAMENTO: CORRELAÇÕES E DIFERENÇAS ENTRE CLASSES DE EFICIÊNCIA
WATER AND FEED EFFICIENCY OF FEEDLOT AND GRAZING NELLORE CATTLE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para obtenção do título de Mestra em Ciência Animal. Área de concentração: Produção Animal.

Aprovado em: 30-06-2025

BANCA EXAMINADORA:

Dr. Rodrigo da Costa Gomes
(EMBRAPA) – Presidente

Dr. Gilberto Romeiro de Oliveira Menezes
(EMBRAPA)

Dr. Ivan Carvalho Filho
(GENEPLUS)

Dr. Miguel Henrique de Almeida Santana
(USP)

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Miguel Henrique de Almeida Santana, Usuário Externo**, em 30/06/2025, às 19:28, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Ivan Carvalho Filho, Usuário Externo**, em 01/07/2025, às 08:03, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Gilberto Romeiro de Oliveira Menezes, Usuário Externo**, em 01/07/2025, às 09:38, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo da Costa Gomes, Usuário Externo**, em 01/07/2025, às 09:53, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5715374** e o código CRC **A6A5591A**.

COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

Referência: Processo nº 23104.001236/2021-33

SEI nº 5715374

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a mim mesma, por não desistir diante dos inúmeros desafios. Pela coragem mantida nos dias difíceis, pela resiliência nas incertezas e pela força silenciosa que me sustentou ao longo dessa caminhada. Esta conquista é também fruto da minha superação.

À banca examinadora, meu sincero agradecimento pelas contribuições valiosas e pelo olhar atento dedicado a este trabalho. Registro minha profunda gratidão ao meu orientador, Prof. Dr. Rodrigo da Costa Gomes, pela confiança, paciência, incentivo constante e orientação firme, sempre marcada por generosidade e rigor científico. Ao meu coorientador, Dr. Gilberto Romeiro de Oliveira Menezes, agradeço pelo apoio técnico, pelas reflexões construtivas e pela parceria ao longo de todo o desenvolvimento do trabalho. Aprendi muito com cada conversa, sugestão e desafio proposto por ambos.

À minha família, minha base e meu refúgio, meu mais sincero reconhecimento. Em especial, à minha mãe Katia Lamon Tieli S. Della Vechia e à minha irmã Ingrid Della Vechia Pinto, que estiveram sempre presentes com palavras de apoio, conselhos e, sobretudo, escuta. Nossas conversas diárias foram essenciais para que eu continuasse em frente. Obrigada por nunca soltarem minha mão, mesmo à distância.

Às minhas amigas Laryssa dos Santos Rudek e Aline Reginaldo dos Santos, que estiveram ao meu lado nos momentos em que mais precisei. Foram companheiras não apenas de estudo, mas de vida, compartilhando comigo alegrias, frustrações e conquistas. A amizade de vocês tornou essa jornada mais leve e significativa.

Agradeço igualmente à Embrapa Gado de Corte, pela disponibilização da infraestrutura essencial à realização dos experimentos e das análises laboratoriais. Estendo meu reconhecimento a todos os funcionários do campo, cuja dedicação e apoio técnico foram indispensáveis em cada etapa da coleta de dados.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), instituição à qual pertenço e que me proporcionou formação acadêmica de excelência. Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos, e à Fundect e Fundapam, pelo apoio financeiro que viabilizou a execução desta pesquisa.

A todos e todas que, de alguma forma, participaram desta trajetória, o meu muito obrigada.

RESUMO

A produção de carne bovina, embora essencial para a segurança alimentar global, impõe grandes demandas sobre os recursos hídricos, com uma pegada estimada em 15.400 m³ por tonelada (kg), o que reforça a importância de estratégias para aprimorar sua eficiência. Este estudo teve como objetivo avaliar a relação entre a eficiência no uso de água e de alimentos por bovinos Nelore em dois sistemas de produção: pastagem e confinamento. Foram utilizados 40 machos da raça Nelore, não castrados, com $12,87 \pm 1,13$ meses de idade e peso inicial médio de $301,21 \pm 28,58$ kg. O experimento foi conduzido na Embrapa Gado de Corte (Campo Grande - MS), com 118 dias na fase de pastagem (*Brachiaria brizantha* cvs. Marandu e Xaraés) e, após intervalo de 18 dias, 77 dias em confinamento. O consumo de água (CH), consumo de matéria seca (CMS), peso vivo médio (PVM) e ganho médio diário (GMD) foram monitorados por bebedouros e cochos eletrônicos, permitindo o cálculo da relação entre consumo hídrico:ganho médio diário (CH:GMD), eficiência alimentar (EA), consumo hídrico residual (CHR) e consumo alimentar residual (CAR). Os animais foram classificados em três grupos, com base no CHR: alto, médio e baixo consumo hídrico residual. Na fase a pasto, animais de alto CHR consumiram em média $23,5 \pm 1,7$ L/dia, com CH:GMD de $26,1 \pm 2,3$ L/kg, enquanto os de baixo CHR consumiram $17,4 \pm 1,6$ L/dia e apresentaram CH:GMD de $20,0 \pm 2,5$ L/kg ($p < 0,0001$). No confinamento, o CH variou de $22,0 \pm 1,8$ L/dia (alto CHR) a $18,1 \pm 1,9$ L/dia (baixo CHR), sem diferença significativa na CH:GMD entre os grupos. O CH a pasto apresentou correlação positiva elevada com a CH:GMD ($r = 0,81$) e com o CHR ($r = 0,90$) a pasto. O CMS correlacionou-se fortemente com o CAR ($r = 0,80$), e a CH:GMD em confinamento apresentou correlações negativas com CMS ($r = -0,60$) e EA ($r = -0,70$). Conclui-se que, embora animais com menor CHR a pasto sejam mais eficientes no uso de água neste regime, essa característica não está associada à eficiência alimentar no confinamento.

Palavras-chave: bovino; consumo hídrico; desempenho; nutrição; recursos naturais; sustentabilidade.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estudos sobre eficiência hídrica em bovinos de corte.	22
Tabela 2 - Composição bromatológica das forrageiras <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu e <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Xaraés.	34
Tabela 3 - Estatística descritiva das variáveis de desempenho, consumo e eficiência de bovinos Nelore na fase a pasto e confinamento.	36
Tabela 4 - Desempenho, consumo e eficiência hídrica a pasto e em confinamento e consumo e eficiência alimentar em confinamento de machos Nelore, em função de sua classe de consumo hídrico residual (CHR), definida a pasto.....	37
Tabela 5 - Correlação entre variáveis de consumo e eficiência alimentar e hídrica de bovinos Nelore em diferentes sistemas de produção.	38

LISTA DE ABREVIATURAS

- ANA** – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
- CAR** – Consumo alimentar residual
- CA** – Consumo alimentar
- CH** – Consumo hídrico
- CHC** – Consumo hídrico no confinamento
- CHP** – Consumo hídrico a pasto
- CHR** – Consumo hídrico residual
- CHRC** – Consumo hídrico residual no confinamento
- CHRP** – Consumo hídrico residual a pasto
- CH:GMD** – Relação entre consumo hídrico e ganho médio diário
- CNPq** – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
- CMS** – Consumo de matéria seca
- DIG/MO** – Digestibilidade in vitro da matéria orgânica
- EA** – Eficiência alimentar
- EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- FAO** – Food and Agriculture Organization of the United Nations
- FDA** – Fibra em detergente ácido
- FDN** – Fibra em detergente neutro
- Fundapam** – Fundação para o Desenvolvimento da Pesquisa do Agronegócio
- Fundect** – Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul
- GMD** – Ganho médio diário
- ILPF** – Integração Lavoura-Pecuária-Floresta
- MS** – Mato Grosso do Sul
- PB** – Proteína bruta
- PVM** – Peso vivo médio
- UFMS** – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVO	12
3. REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1 A crise hídrica global e seus efeitos sobre a agropecuária	13
3.2 O problema da pegada hídrica na bovinocultura de corte	16
3.3 Alternativas para redução da pegada hídrica na pecuária	19
3.4 Melhoramento genético animal para eficiência hídrica	21
3.5 Associação entre eficiência hídrica e eficiência alimentar	22
Referências	25
4. ARTIGO	29
RESUMO	30
ABSTRACT	31
Introdução	32
Material e métodos	33
Resultados	35
Discussão	38
Conclusão	40
Referências	43

1. INTRODUÇÃO

A pecuária de corte brasileira, sustentada majoritariamente pela raça Nelore, constitui uma das bases econômicas e estratégicas do agronegócio nacional, contribuindo significativamente para a segurança alimentar global. Ao mesmo tempo em que o setor responde pela produção de carne em larga escala, enfrenta pressões crescentes para adotar práticas mais eficientes e sustentáveis no uso de recursos naturais, como a água e os alimentos, especialmente diante do agravamento da escassez hídrica global (RIBEIRO *et al.*, 2012).

A água, embora frequentemente negligenciada nas discussões sobre nutrição animal, é um nutriente essencial, participando de processos fisiológicos fundamentais, como digestão, termorregulação, metabolismo, excreção de resíduos e reprodução. A ingestão hídrica está diretamente relacionada à ingestão de matéria seca, sendo influenciada por fatores como peso corporal, tipo de dieta, temperatura ambiente e estágio fisiológico do animal (REIS *et al.*, 2015). Em sistemas intensivos e extensivos, a eficiência no uso da água emerge como um indicador-chave para o desenvolvimento de sistemas mais resilientes

A eficiência hídrica, expressa como a quantidade de água consumida por unidade de produto (por exemplo, kg de peso vivo), tem sido explorada como métrica zootécnica relevante para mensurar o desempenho produtivo aliado à sustentabilidade. Animais que apresentam menor consumo hídrico para o mesmo nível de produtividade representam vantagens tanto econômicas quanto ambientais. Contudo, a mensuração e a interpretação desses parâmetros exigem controle rigoroso de variáveis ambientais e genéticas, sobretudo em rebanhos heterogêneos (SOBRINHO *et al.*, 2011).

Nesse cenário, o consumo hídrico residual (CHR), baseado no mesmo princípio do consumo alimentar residual (CAR), tem ganhado destaque como ferramenta para identificar indivíduos mais eficientes no uso da água. Tal abordagem considera a diferença entre o consumo observado e o predito de água, ajustado para o desempenho animal, como peso e ganho médio diário. Estudos recentes apontam estimativas de herdabilidades moderadas para o CHR, bem como estimativas de correlações com características comportamentais, produtivas e de ingestão, indicando seu potencial como critério em programas de melhoramento genético, desde que

essas associações sejam favoráveis ao objetivo da seleção (PEREIRA *et al.*, 2021; DRESSLER *et al.*, 2023; SOUZA *et al.*, 2024).

Simultaneamente, a eficiência alimentar segue sendo um dos critérios mais importantes para a seleção animal, impactando diretamente os custos de produção e a pegada ambiental da pecuária (MENEZES *et al.*, 2018). O avanço tecnológico com equipamentos como bebedouros eletrônicos e cochos automatizados permite a coleta individual de dados de ingestão hídrica e alimentar em larga escala, contribuindo para análises robustas sobre variabilidade fenotípica, comportamento ingestivo e desempenho sob diferentes sistemas de criação.

Em sistemas a pasto, predomina a variabilidade na oferta forrageira e maior exposição às condições climáticas, o que pode afetar tanto o consumo quanto o metabolismo dos animais. Já no confinamento, a padronização da dieta e a oferta hídrica controlada são vantajosas, mas fatores como densidade animal, estresse social e limitações comportamentais também interferem no desempenho (RIBEIRO *et al.*, 2012). Estratégias de seleção para eficiência devem considerar também os efeitos do ambiente sobre o comportamento animal, dado que esses fatores influenciam o desempenho zootécnico (AHLBERG *et al.*, 2019).

Assim, considera-se que a eficiência no uso da água e dos alimentos por bovinos Nelore varia entre sistemas de produção e entre indivíduos, sendo possível identificar animais mais eficientes por meio de critérios como o consumo residual, mesmo em ambientes distintos. A identificação desses animais, considerando as interações entre genética e ambiente, é estratégica para o desenvolvimento de sistemas produtivos mais sustentáveis e economicamente viáveis. A adoção de critérios objetivos de eficiência, aliada ao uso de tecnologias de monitoramento e ao melhoramento genético, tem potencial para mitigar os impactos ambientais da pecuária e aumentar a resiliência da atividade frente às novas demandas do setor.

2. OBJETIVO

Avaliar o desempenho dos animais nos sistemas de produção a pasto e em confinamento, com o intuito de identificar padrões de consumo e possíveis associações entre os indicadores de eficiência hídrica e alimentar.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A crise hídrica global e seus efeitos sobre a agropecuária

Desde a década de 1960, a população mundial mais do que dobrou, atingindo aproximadamente 7,8 bilhões de pessoas em 2020, o que intensificou significativamente a demanda global por alimentos (FAO, 2022). Nas últimas duas décadas, a demanda alimentar global cresceu significativamente, impulsionada pelo aumento populacional e por mudanças nos padrões de consumo alimentar, sobretudo em áreas urbanas (FAO, 2022; UNDESA, 2019).

Essa elevação na demanda por alimentos repercute diretamente na pressão sobre os recursos naturais, principalmente a água e o solo. O aumento da produção agropecuária para atender às novas necessidades globais tem impulsionado o uso intensivo de áreas agrícolas e recursos hídricos, exigindo cadeias produtivas mais eficientes e resilientes (HAYES, LEWIN e GODDARD, 2013). Como alternativas, destacam-se práticas sustentáveis como a integração lavoura-pecuária-floresta e o manejo conservacionista do solo, que têm se mostrado eficazes na mitigação dos impactos ambientais associados à produção extensiva e ineficiente, promovendo maior eficiência no uso dos recursos e contribuindo para a intensificação sustentável da pecuária (PRETTY *et al.*, 2018).

Além do crescimento da demanda por alimentos, os sistemas de produção estão sujeitos a possíveis impactos das mudanças climáticas, como a variabilidade dos regimes de chuva, aumento das temperaturas médias e maior ocorrência de eventos climáticos extremos, conforme apontado por organismos internacionais (IPCC, 2022). Tais fenômenos afetam diretamente a agricultura e a pecuária, comprometendo a produtividade, a qualidade dos recursos naturais e a estabilidade dos ecossistemas produtivos, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais (NARDONE *et al.*, 2010).

Entre os eventos climáticos extremos, a seca figura como um dos mais impactantes sobre os sistemas agropecuários. A escassez hídrica prejudica a produção de forragem, limita a oferta de água para os animais e pode provocar perdas significativas no desempenho zootécnico e reprodutivo dos rebanhos. Além disso, o estresse hídrico reduz a disponibilidade de pastagens e aumenta os custos com

suplementação e manejo. Em sistemas extensivos, onde a dependência da chuva é elevada, as secas prolongadas comprometem a sustentabilidade ambiental e econômica da atividade pecuária (AHLBERG, 2017).

Em paralelo a essas preocupações, desenvolveu-se o conceito de pegada hídrica, que busca quantificar o volume total de água utilizado ao longo do ciclo de vida de produtos e serviços. A pegada hídrica é composta por três componentes: a azul, referente à água superficial e subterrânea utilizada; a verde, correspondente à água da chuva incorporada pelas plantas; e a cinza, que representa o volume necessário para diluir poluentes até níveis aceitáveis no ambiente (HOEKSTRA *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2013). Essa distinção permite uma análise mais precisa sobre o tipo de pressão exercida sobre os recursos hídricos em diferentes contextos de produção (GERBENS-LEENES, MEKONNEN e HOEKSTRA, 2013).

Nas regiões sujeitas à seca, a análise da pegada hídrica adquire ainda mais relevância. A água azul torna-se escassa durante os períodos de estiagem, afetando diretamente os sistemas que dependem de irrigação ou de fornecimento direto para os animais. Já a água verde torna-se incerta em função da irregularidade das chuvas. Assim, o tipo de água utilizada nas cadeias produtivas influencia a resiliência frente às condições climáticas adversas (AHLBERG, 2017).

A magnitude do consumo de água pela humanidade cresceu de forma exponencial ao longo do século XX. A extração global de água doce aumentou quase sete vezes no período, refletindo tanto o crescimento da população quanto os novos padrões de consumo (MEKONNEN e HOEKSTRA, 2011). Projeta-se que essa tendência continuará colocando em risco a disponibilidade de água em diversas regiões e exigindo práticas mais eficientes e racionais de uso hídrico (MANZARDO *et al.*, 2014).

No setor pecuário, a água consumida diretamente pelos animais é predominantemente de origem azul, utilizada para ingestão e limpeza. A água presente na alimentação pode ser azul ou verde, a depender da origem dos insumos, e a fração cinza está associada à carga de poluentes gerados, especialmente nitrogênio e fósforo, oriundos de fezes e urina (KHELIL-ARFA *et al.*, 2012). Estratégias de alimentação, como a escolha entre pastagem ou ração concentrada, influenciam a pegada hídrica da produção, pois pastagens utilizam majoritariamente água verde,

enquanto rações à base de grãos concentram maior uso de água azul e cinza, associadas à irrigação e à poluição difusa (PATLE, KUMAR e KHANNA, 2020).

A distribuição da pegada hídrica global reflete disparidades no consumo e nas pressões regionais sobre os recursos. Entre 1996 e 2005, a média anual da pegada hídrica mundial foi estimada em 9.087 Gm³/ano, sendo composta por 74% de água verde, 11% de água azul e 15% de água cinza. A agricultura respondeu por 92% desse volume total, evidenciando seu peso nas discussões sobre sustentabilidade hídrica (HOEKSTRA e MEKONNEN, 2012). A exportação de produtos agrícolas e industriais representou cerca de 19% dessa pegada, o que demonstra a transferência indireta de água entre regiões por meio do comércio internacional (HOEKSTRA e CHAPAGAIN, 2007).

China, Índia e Estados Unidos foram os maiores responsáveis pela pegada hídrica total global nesse período, concentrando cerca de 38% do total, com o Brasil ocupando a quarta posição. A Índia apresentou a maior pegada azul, destacando-se pela irrigação intensiva de culturas como arroz, trigo e cana-de-açúcar, enquanto a China liderou na pegada cinza, associada à alta carga de poluentes agrícolas (HOEKSTRA e MEKONNEN, 2012).

O consumo individual médio de água no mundo, considerando produtos agrícolas, industriais e domésticos, foi estimado em 1.385 m³/pessoa/ano. Os cereais foram responsáveis por 27% desse total, as carnes por 22% e os produtos lácteos por 7%, reforçando o papel central da produção animal na pressão sobre os recursos hídricos (HOEKSTRA e MEKONNEN, 2012).

Compreender o contexto da pegada hídrica é, portanto, fundamental para guiar políticas públicas e decisões técnicas, mas é igualmente necessário considerar que sua interpretação isolada pode ocultar as vulnerabilidades concretas provocadas por eventos extremos, como as secas prolongadas. Mais do que medir o uso da água, é preciso garantir sua disponibilidade e gestão eficaz diante de condições climáticas cada vez mais instáveis. Nesse cenário, a resiliência hídrica local torna-se um objetivo estratégico para a sustentabilidade da produção pecuária (AHLBERG, 2017).

3.2 O problema da pegada hídrica na bovinocultura de corte

A pecuária de corte representa uma das principais atividades econômicas do Brasil, contudo destaca-se também por ser uma das que mais consomem recursos naturais, em especial a água. Em 2023, o volume total de água retirada para todos os setores econômicos no país foi de aproximadamente 2.103,6 metros cúbicos por segundo, o que corresponde a cerca de 66,52 trilhões de litros por ano. Deste total, 7,9% foram destinados ao abastecimento animal, evidenciando a dimensão da dependência hídrica da produção pecuária (ANA, 2024). Essa dependência é intensificada pela diversidade regional do país: em 2024, as regiões Norte, Sudeste, Sul, Nordeste e Centro-Oeste consumiram, respectivamente, 36,1; 29,8; 26,4; 25,6 e 50,6 m³/s apenas para dessedentação animal, somando 168,5 m³/s (ANA, 2025).

Esse consumo de água acompanha o avanço expressivo da bovinocultura no Brasil. Em 2023, o país atingiu o maior número de abates da história, totalizando 41,96 milhões de cabeças, com cerca de 6,9 milhões de bovinos terminados em confinamento e 59,3% dos abates realizados em estabelecimentos sob Serviço de Inspeção Federal (SIF). A carne bovina representou 3% das exportações totais brasileiras e 6,3% das exportações do agronegócio, gerando um superávit de US\$ 98,9 bilhões (ABIEC, 2024). Apesar de sua importância econômica, a bovinocultura é frequentemente criticada por sua baixa eficiência na conversão de insumos, como água e alimento, em produto final, especialmente quando comparada a outras cadeias produtivas, como aves e suínos. Essa menor eficiência se reflete, por exemplo, na maior quantidade de água por quilo de carne produzida e na conversão alimentar mais elevada (PALHARES, 2017).

A pegada hídrica da carne bovina ilustra esse desafio. Enquanto a carne de frango apresenta uma pegada média global de 4.300 m³/tonelada e a de porco 6.000 m³/tonelada, a carne bovina demanda cerca de 15.400 m³/tonelada. Embora a contribuição direta da água potável (1,1%), da água de serviço (0,8%) e da água usada na mistura de ração (0,03%) para esse total seja pequena, a maior parte da pegada está concentrada na alimentação animal: o pasto responde por 38%, o milho por 17% e as forrageiras por 8%. A produção de ração animal, por sua vez, soma uma pegada hídrica global de 2.376 Gm³/ano, dos quais 1.463 Gm³/ano são atribuídos às culturas agrícolas, demonstrando que a alimentação é o maior vetor de pressão hídrica no

sistema pecuário (MEKONNEN e HOEKSTRA, 2010; MEKONNEN e HOEKSTRA, 2011).

Globalmente, a produção animal é responsável por aproximadamente 2.422 Gm³/ano da pegada hídrica, o equivalente a 29% da pegada agrícola total. O gado de corte é o maior contribuinte (33%), seguido pelo leiteiro (19%), suínos (19%) e frangos (11%). Os sistemas mistos concentram 57,4% da pegada hídrica da produção animal, enquanto os sistemas de pastoreio e confinamento representam, respectivamente 20,3% e 22,3%, respectivamente. Nos sistemas de pasto, cerca de 94% da pegada é composta por água verde, enquanto a água azul representa apenas 3,6%, sendo 33% desse total oriundo da ingestão direta pelos animais (MEKONNEN e HOEKSTRA, 2012). Isso reforça a dependência da pecuária das condições climáticas e do regime de chuvas.

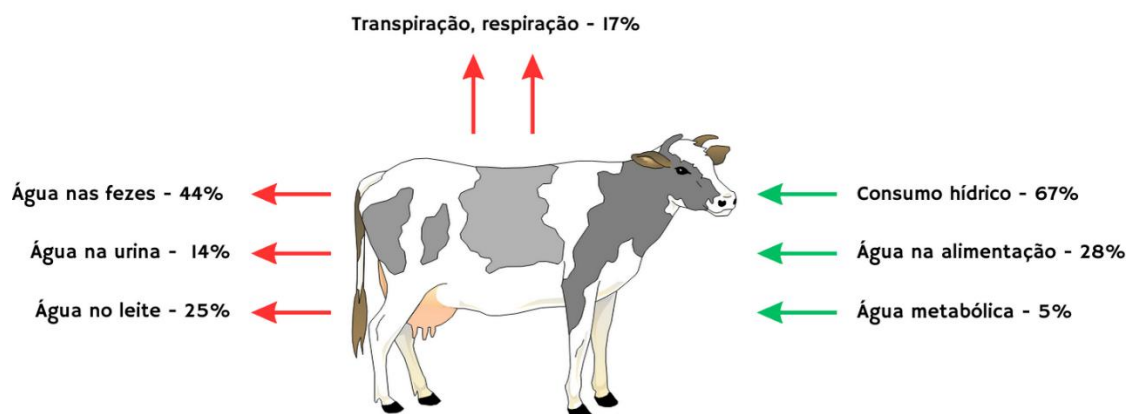
A compreensão do metabolismo hídrico em bovinos de corte é essencial para avaliar o impacto da escassez de água sobre o desempenho animal. A ingestão de água ocorre por três vias principais: consumo direto (água de bebida), água presente nos alimentos e água metabólica gerada internamente. Essa água é excretada pelas fezes, urina e perdas evaporativas (respiração e transpiração). Estima-se que 70% da massa corporal dos bovinos seja composta por água, representando aproximadamente 99% das moléculas no organismo animal (NRC, 2016).

Em bovinos de corte mantidos sob condições termoneutras, estima-se que as perdas de água sejam distribuídas em aproximadamente 30 a 45% nas fezes, 15 a 20% na urina e 20 a 30% por evaporação pulmonar e cutânea (NRC, 2016). A Figura 1, embora derivada de dados obtidos em vacas leiteiras em lactação, é utilizada de forma ilustrativa para representar os principais componentes do balanço hídrico em ruminantes.

Além disso, bovinos Nelore demonstram alta capacidade adaptativa ao ambiente tropical. Sob estresse térmico, o percentual de água perdido por evaporação pode ultrapassar os 30%, à medida que os animais intensificam a respiração ofegante e a sudorese para manter a temperatura corporal. Já em condições de dieta úmida, como pastagens verdes, parte significativa da água ingerida provém dos alimentos, reduzindo o consumo direto e aumentando a excreção fecal. Essa flexibilidade fisiológica no uso da água torna-se um diferencial importante para garantir o

desempenho, o bem-estar e a sustentabilidade nos sistemas de produção de carne bovina (ZANETTI et al., 2019).

Figura 1 - Balanço hídrico de uma vaca leiteira Holandesa em lactação (%)



Fonte: Adaptado de KHELIL-ARFA et al., 2012.

A ingestão hídrica é regulada por diversos fatores, como ingestão de matéria seca, temperatura ambiente, composição da dieta e estágio fisiológico. A falta de água adequada compromete severamente o desempenho produtivo e reprodutivo, resultando em menor ganho de peso, pior conversão alimentar, redução da fertilidade e aumento da incidência de doenças (OLIVEIRA et al., 2016; NARDONE et al., 2010). Desde os trabalhos de WINCHESTER e MORRIS (1956), diversos estudos vêm refinando os modelos de predição de consumo hídrico, como os de HICKS et al. (1988), que incorporaram variáveis ambientais e nutricionais.

Diante das atuais mudanças climáticas, a capacidade de adaptação dos sistemas de produção de carne bovina torna-se prioridade. A seleção de animais mais eficientes no uso da água é apontada como uma estratégia promissora para enfrentar esse cenário. AHLBERG et al. (2019) demonstraram que bovinos mais eficientes no uso da água mantêm melhor desempenho mesmo sob estresse térmico e escassez hídrica. Essa abordagem é reforçada por estudos brasileiros que indicam a viabilidade da seleção genética para eficiência hídrica, sem comprometer características produtivas (PEREIRA et al., 2021; MENEZES et al., 2018).

Ainda assim, o conhecimento sobre o uso da água na pecuária de corte é limitado. Segundo PALHARES, MORELLI e NOVELLI (2021), a integração da pegada hídrica aos sistemas de manejo se dá pela avaliação do consumo de água em cada fase do processo produtivo, permitindo a adoção de práticas que otimizem o uso

hídrico, como a escolha de insumos menos impactantes, ajustes nutricionais e melhorias na gestão hídrica da propriedade. Iniciativas como o mapeamento detalhado do uso hídrico na cadeia da carne (SPORE *et al.*, 2020) e a avaliação de estratégias de alimentação (PALHARES, 2017) apontam caminhos possíveis. WEST e BAXTER (2018) sugerem melhorias no manejo animal como ferramenta de eficiência hídrica, enquanto WHITE *et al.* (2015) destacam o papel da nutrição e do melhoramento genético na sustentabilidade da cadeia.

Assim, a análise da pegada hídrica na bovinocultura de corte vai além da simples quantificação do volume de água utilizado. Ela envolve compreender as interações entre genética, ambiente, nutrição e manejo, especialmente em contextos de crescente escassez hídrica. A adoção de práticas baseadas em dados, aliada à seleção de animais mais adaptados, será essencial para garantir a segurança alimentar e a sustentabilidade da pecuária brasileira frente às mudanças climáticas, uma vez que a redução da pegada hídrica contribui para o uso mais eficiente dos recursos hídricos, assegura a continuidade da produção de alimentos e reduz a vulnerabilidade dos sistemas produtivos em cenários de escassez (AHLBERG, 2017; PALHARES, MORELLI e NOVELLI, 2021).

3.3 Alternativas para redução da pegada hídrica na pecuária

A crescente escassez de água e as mudanças climáticas intensificam os desafios enfrentados pela pecuária de corte, demandando a adoção de estratégias capazes de otimizar o uso dos recursos disponíveis sem comprometer o desempenho dos animais. Práticas produtivas centradas no animal têm se mostrado fundamentais para enfrentar os desafios impostos pela escassez hídrica, promovendo maior eficiência fisiológica, nutricional e comportamental em diferentes sistemas de criação (AHLBERG *et al.*, 2019; NARDONE *et al.*, 2010).

A ambiência é fator crítico para o desempenho em ambientes quentes e secos, onde o estresse térmico reduz o consumo de matéria seca e a produtividade, além de aumentar a perda de água por evaporação (SOBRINHO *et al.*, 2011). A implantação de sistemas de sombreamento natural ou artificial e o posicionamento estratégico de bebedouros favorecem o bem-estar animal, estimulam a ingestão hídrica e melhoram

os indicadores produtivos (SCHLINK, NGUYEN e VILJOEN, 2010; WEST e BAXTER, 2018).

Práticas de monitoramento individual do consumo de água e alimentos, com o uso de tecnologias como sensores, coleiras inteligentes e cochos eletrônicos, permitem identificar animais menos eficientes, apoiando o manejo e a seleção zootécnica (MENEZES *et al.*, 2018; DRESSLER *et al.*, 2023; SOUZA *et al.*, 2024). Tais ferramentas viabilizam decisões mais precisas em cenários de restrição hídrica e contribuem para a formação de rebanhos mais eficientes sob estresse ambiental.

O manejo do pastejo, embora relacionado ao sistema solo-planta-animal, mantém papel importante para o desempenho animal, pois define a qualidade e a quantidade da forragem disponível. O uso de parâmetros biológicos, como altura de pastejo e oferta de forragem, favorece o aproveitamento dos nutrientes e a conversão da água utilizada na produção vegetal em ganho de peso (FAO, 2019; GENRO e SILVEIRA, 2018).

Garantir o fornecimento contínuo de água limpa, fresca e em quantidade adequada é essencial para o desempenho e a saúde dos bovinos. A qualidade da água influencia diretamente sua aceitação pelos animais, sendo afetada por temperatura, presença de contaminantes e matéria orgânica, principalmente para bezerros (RASBY e WALZ, 2011; MEEHAN, STOKKA e MOSTROM, 2015). O uso de bebedouros artificiais bem dimensionados, móveis e regularmente limpos, em sistemas rotacionados, previne contaminações, preserva o solo e assegura o acesso eficiente, especialmente em períodos de maior demanda hídrica (BRAGA *et al.*, 2015; BRASIL, 2006).

Além disso, a adoção de sistemas integrados, como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), contribui para a melhoria do microclima, oferece sombreamento natural, melhora a oferta alimentar e auxilia na recuperação das áreas degradadas, refletindo positivamente no conforto e desempenho dos bovinos, bem como na sustentabilidade do sistema produtivo (GASPARINI *et al.*, 2017; SILVEIRA, MONTARDO e SANT'ANNA, 2019).

O manejo reprodutivo e sanitário eficiente também impacta diretamente na produtividade, pois reduz perdas por doenças, melhora as taxas de prenhez e encurta ciclos produtivos. Protocolos nutricionais adequados, avaliação constante do escore

corporal e controle parasitário são essenciais para que o animal alcance seu potencial produtivo mesmo sob restrição hídrica (WHITE et al., 2015).

Por fim, destacam-se como estratégias centrais para o enfrentamento da escassez hídrica as abordagens genéticas e nutricionais. A melhoria genética, por meio da seleção de animais com maior eficiência hídrica e alimentar, tem sido apontada como uma estratégia promissora para reduzir o consumo de água por unidade de produto, desde que não haja prejuízos ao desempenho produtivo. Estudos indicam que a eficiência no uso da água pode estar associada a características comportamentais e produtivas relevantes, o que reforça seu potencial de inclusão em programas de seleção (MENEZES et al., 2018; PEREIRA et al., 2021).

No âmbito nutricional, dietas equilibradas e adaptadas às necessidades específicas dos animais, com proporções adequadas entre volumosos e concentrados, auxiliam no melhor aproveitamento dos nutrientes, redução do estresse metabólico e estímulo do consumo hídrico (PALHARES, MORELLI e NOVELLI, 2021; PALHARES et al., 2017). A suplementação estratégica e ingredientes de alta digestibilidade é fundamental para manter a produtividade e eficiência em sistemas intensivos submetidos à limitação hídrica.

3.4 Melhoramento genético animal para eficiência hídrica

A eficiência no uso da água e dos alimentos por bovinos de corte tem sido considerada uma variável de interesse em contextos de sustentabilidade, especialmente diante das mudanças climáticas e da escassez hídrica. No melhoramento genético, sua viabilidade depende de parâmetros como herdabilidade, correlações genéticas com outras características produtivas e possibilidade de progresso por seleção. Estudos nessa área, no entanto, ainda são limitados, especialmente no que se refere a raças zebuínas como o Nelore, base da pecuária de corte brasileira. A maior parte das pesquisas se concentra em raças taurinas adaptadas, como Senepol e Caracu, desenvolvidas majoritariamente em confinamento e com o uso de tecnologia para mensuração individual de consumo alimentar e hídrico (MENEZES et al., 2018; PEREIRA et al., 2021; SOUZA et al., 2024; DRESSLER et al., 2023; AHLBERG et al., 2019) (Tabela 1).

Tabela 1 - Estudos sobre eficiência hídrica em bovinos de corte.

Citação *	Local	Raça	Sexo	Idade	Peso	Sistema	Animais
BREW et al. (2011)	EUA	Cruzado	F e M	7 a 9 m	276	Conf.	146
MENEZES et al. (2018)	BR	Senepol	F	17 m	397	Conf.	587
AHLBERG et al. (2019)	EUA	Cruzado	M	-	-	Conf.	578
PEREIRA et al. (2020)	BR	Senepol	F e M	16 a 18 m	388 a 473	Conf.	1.116
PIRES et al. (2022)	BR	Caracu	F e M	7 a 10 m	199 a 246	Conf.	104
DRESSLER et al. (2023)	EUA	Zebu	M	-	-	Conf.	830
SOUZA et al. (2024)	BR	Senepol	F e M	16 a 18 m	378 a 474	Conf.	1.762

Fonte: Tabela adaptada, autoria*;

Conf – Confinamento; F – Fêmea; M – Macho.

Estudos mais recentes têm avançado na incorporação da eficiência hídrica como critério de seleção genética. Trabalhos como os de DRESSLER et al. (2023) e AHLBERG et al. (2019) utilizaram tecnologia de precisão (sistema Insentec) para quantificar com elevada acurácia o consumo hídrico e alimentar de bovinos em confinamento nos Estados Unidos. Essa limitação evidencia a necessidade de diversificar os estudos quanto aos genótipos avaliados, ambientes e sistemas produtivos, como proposto neste trabalho com a raça Nelore.

3.5 Associação entre eficiência hídrica e eficiência alimentar

A busca por sistemas produtivos mais eficientes e sustentáveis tem impulsionado o interesse por características relacionadas ao uso racional dos recursos, como a eficiência hídrica. No contexto do melhoramento genético, essa variável tem sido estudada como potencial critério de seleção, considerando-se a possibilidade de resposta genética e suas relações com características produtivas e comportamentais. No estudo de Dressler et al. (2023), conduzido com 830 novilhos cruzados em confinamento, foram relatadas estimativas de herdabilidade moderada para características de consumo: $0,44 \pm 0,11$ para consumo diário de água e $0,57 \pm 0,11$ para consumo diário de matéria seca. Além disso, observaram-se estimativas de herdabilidade alta para comportamentos associados à ingestão hídrica, como velocidade de ingestão de água ($0,88 \pm 0,08$) e tamanho da sessão de bebida ($0,70 \pm 0,12$).

Em Souza et al. (2024), avaliando bovinos da raça Senepol, foram obtidas estimativas de herdabilidade moderada variando de 0,20 a 0,26 para os índices de eficiência hídrica, como CHR e taxa de conversão hídrica (TCH). O estudo também identificou estimativas de correlação genética alta entre o consumo de água e o consumo de matéria seca (CMS), com valores próximos de 0,85, além de estimativas de correlação genética alta entre diferentes índices de eficiência hídrica que chegaram a 0,91, evidenciando forte associação entre essas características. Esses resultados indicam que há variabilidade genética suficiente para viabilizar a seleção de animais mais eficientes no uso da água, sem comprometer o desempenho produtivo.

Pereira et al. (2021) também analisaram bovinos da raça Senepol e reportaram estimativas de herdabilidade baixa (0,17) para ganho médio diário (GMD) e moderada (0,46) para CHR, indicando maior controle genético sobre o consumo hídrico residual. Foram identificadas estimativas de correlação genética moderada entre CHR e CMS (0,43), bem como estimativas de correlação genética alta e negativa entre CHR e consumo alimentar residual (CAR), com valor de $-0,57$, sugerindo que animais geneticamente mais eficientes no uso da água tendem a ser também mais eficientes na utilização do alimento. Além disso, foram observadas estimativas de correlação genética entre CHR e GMD de 0,49 e 0,44 (dependendo da definição), o que demonstra uma associação moderada e positiva, ainda que de menor magnitude, entre maior CHR e maior GMD, alertando para possível antagonismo leve ao selecionar por eficiência hídrica.

Por sua vez, Menezes et al. (2018) relataram estimativas de herdabilidade moderada para o consumo hídrico total (0,47) e CHR (0,39), baixa para CMS (0,23), GMD (0,15) e CAR (0,12) em bovinos Senepol. As estimativas de correlação genética entre CHR e CAR foram moderadamente positivas (0,50), e as estimativas de correlação fenotípica foram de 0,37, reforçando a associação entre eficiência hídrica e alimentar. As estimativas de correlação genética entre CHR e GMD foram de 0,45, indicando uma correlação moderada e positiva, ou seja, animais com maior CHR também apresentavam, em média, maior GMD, ao contrário da suposição de independência entre essas características. Ainda, as estimativas de correlação genética entre CH e CMS foram altas (0,75), e as estimativas de correlação fenotípica atingiram 0,57, evidenciando que o consumo de água tende a acompanhar o consumo alimentar em sistemas de produção.

Os estudos clássicos também oferecem informações relevantes. BALCH *et al.* (1953) identificaram que a restrição hídrica reduziu o consumo de matéria seca, a digestibilidade e retardou o trânsito ruminal. THORNTON e YATES (1968) observaram aumento na digestibilidade da fibra e redução acentuada na excreção fecal de água durante a restrição hídrica, sem grandes alterações na urina, sugerindo mecanismos adaptativos para economia de água.

Tais achados reforçam que a eficiência hídrica pode ser melhorada sem comprometer o desempenho zootécnico, sendo compatível com a intensificação sustentável. A incorporação dessa variável em programas de melhoramento, especialmente para raças zebuínas em condições tropicais, representa um avanço importante para a pecuária brasileira (SOUZA *et al.*, 2024; PEREIRA *et al.*, 2021; MENEZES *et al.*, 2018).

Referências

- ABIEC. **Beef Report 2024**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2024-perfil-da-pecuaria-no-brasil/>>. Acesso em: 27 jul. 2025.
- AHLBERG, C. M. **The importance of water-efficient and adaptable beef cattle**. Beef Improvement Federation – Annual Convention. Georgia, EUA: [s.n.], 2017.
- AHLBERG, C. M. et al. Characterization of water intake and water efficiency in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. 12, p. 4770–4782, 1 dez. 2019.
- ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <www.gov.br/ana/pt-br>.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Base Nacional de Referência - Usos Consuntivos da Água no Brasil**. 2025. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiMWE2ZTE1NmItOGUyZS00ZTc1LTljMzUtNDgwYjVhODcyNWl1IiwidCI6ImUwYmI0MDEyLTgxMGItNDY5YS04YjRkLTkyN2ZjZDFiYWY4OCJ9>>. Acesso em: 28 abr. 2025.
- BALCH, C. C. et al. Factors Affecting the Utilization of Food by Dairy Cows. **British Journal of Nutrition**, v. 7, n. 3, p. 212–224, set. 1953.
- BERRY, D. P.; CROWLEY, J. J. Residual intake and body weight gain: A new measure of efficiency in growing cattle. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 1, p. 109–115, jan. 2012.
- BRAGA, G. G. et al. Influence of extended drought on water quality in tropical reservoirs in a semiarid region. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 27, n. 1, p. 15–23, 2015.
- BRASIL. **Manual de Procedimentos de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <www.saude.gov.br>.
- BREW, M. N. et al. Water intake and factors affecting water intake of growing beef cattle. **Livestock Science**, v. 140, n. 1–3, p. 297–300, set. 2011.
- DRESSLER, E. A. et al. Heritability and variance component estimation for feed and water intake behaviors of feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v. 101, 2023.
- FAO. **Water use in livestock production systems and supply chains Guidelines for assessment**. 1. ed. Rome: Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership, 2019.
- FAO. **The future of food and agriculture – Drivers and triggers for transformation**. 3. ed. Rome: Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership, 2022.

GASPARINI, L. V. L. et al. **Sistemas integrados de produção agropecuária e inovação em gestão: estudo de casos no Mato Grosso**. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br>>. Acesso em: 27 jul. 2025.

GENRO, T. C. M.; SILVEIRA, M. C. T. **Uso da altura para ajuste de carga em pastagens**. Bagé: [s.n.].

GERBENS-LEENES, P. W.; MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. The water footprint of poultry, pork and beef: A comparative study in different countries and production systems. **Water Resources and Industry**, v. 1–2, p. 25–36, 2013.

GERBER, P. J. et al. **Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013.

HAYDOCK, K. P.; SHAW, N. H. Methods-Comparative_Yield. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, v. 15, n. 76, p. 663–670, 1975.

HAYES, B. J.; LEWIN, H. A.; GODDARD, M. E. The future of livestock breeding: Genomic selection for efficiency, reduced emissions intensity, and adaptation. **Trends in Genetics**, v. 29, n. 4, p. 206–214, abr. 2013.

HERD, R. M.; ARTHUR, P. F. Physiological basis for residual feed intake. **Journal of animal science**, v. 87, n. 14 Suppl, 2009.

HOEKSTRA, A. Y. et al. **Water Footprint Manual**. [s.l: s.n.]. 2009. Disponível em: <www.waterfootprint.org>.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. **Water Resources Management**, v. 21, n. 1, p. 35–48, jan. 2007.

HOEKSTRA, A. Y.; MEKONNEN, M. M. The water footprint of humanity. **Proc Natl Acad Sci USA**, v. 109, n. 9, p. 3232–3237, 28 fev. 2012.

IPCC. **Sexto Relatório de Avaliação do IPCC**. 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>. Acesso em: 12 maio 2025.

KHELIL-ARFA, H. et al. Prediction of water intake and excretion flows in Holstein dairy cows under thermoneutral conditions. **Animal**, v. 6, n. 10, p. 1662–1676, 2012.

KOCH, R. M. et al. Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 22, p. 486–494, 1963.

MANZARDO, A. et al. Integration of water footprint accounting and costs for optimal chemical pulp supply mix in paper industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 72, p. 167–173, 1 jun. 2014.

MEEHAN, M.; STOKKA, G.; MICHELLE, M. Livestock Water Requirements. jul. 2015.

MEKONNEN, M.; HOEKSTRA, A. Y. **The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products.** [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://digitalcommons.unl.edu/wffddocs/82>>.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 15, n. 5, p. 1577–1600, 2011.

MENEZES, G. R. O. et al. Genetic and phenotypic parameters for feed and water efficiency in Senepol cattle. **ICAR**, p. 167–171, 2018.

NARDONE, A. et al. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. **Livestock Science**, v. 130, n. 1–3, p. 57–69, maio 2010.

NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient Requirements of Beef Cattle.** 8. ed. Washington, D.C.: National Academies Press, 2016.

OLIVEIRA, J. P. DA C. A. et al. Considerações sobre o consumo de água por bovinos. **Nutri Time**, v. 13, 1 fev. 2016.

PALHARES, J. C. P. Water footprint and nutrient efficiency in swine and poultry. **54^a. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, p. 256–269, 2017.

PALHARES, J. C. P.; MORELLI, M.; NOVELLI, T. I. Water footprint of a tropical beef cattle production system: The impact of individual-animal and feed management. **Advances in Water Resources**, v. 149, 1 mar. 2021.

PATLE, G. T.; KUMAR, M.; KHANNA, M. Climate-smart water technologies for sustainable agriculture: A review. **Journal of Water and Climate Change**, v. 11, n. 4, p. 1455–1466, 2020.

PEREIRA, G. M. et al. Water requirements of beef production can be reduced by genetic selection. **Animal**, v. 15, n. 3, 1 mar. 2021.

PIRES, B. V. et al. Effects of Feeding and Drinking Behavior on Performance and Carcass Traits in Beef Cattle. **Animals**, v. 12, n. 22, 1 nov. 2022.

PRETTY, J. et al. Global Assessment of Agricultural System Redesign for Sustainable. **Nature Sustainability**, p. 441–446, [s.d.]. 2013.

RASBY, R.; WALZ, T. Water Requirements for Beef Cattle. **University of Nebraska on behalf of the University of Nebraska–Lincoln Extension.**, v. G2060, 2024.

REIS, S. F. et al. Feed efficiency and meat quality of crossbred beef heifers classified according to residual feed intake. **Revista Brasileira de Saude e Producao Animal**, v. 16, n. 3, p. 632–642, 2015.

RIBEIRO, J. DO S. et al. Residual feed intake and its effect on carcass and meat characteristics of feedlot Zebu cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 6, p. 1509–1515, 2012.

SCHLINK, A. C.; NGUYEN, M.-L.; VILJOEN, G. J. Water requirements for livestock production: a global perspective. **Rev. sci. tech. Off. int. Epiz**, n. 3, p. 603–619, 2010.

SILANIKOVE, N. Effects of water scarcity and hot environment on appetite and digestion in ruminants: a review. **Livestock Production Science**, v. 30, p. 175–194, 1992.

SILVA, V. P. R. et al. Uma medida de sustentabilidade ambiental: Pegada hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 100–105, 2013.

SILVEIRA, M. C. T.; MONTARDO, D. P.; SANT'ANNA, D. M. **Pasto Sobre Pasto Estratégias de manejo para uso de mesclas forrageiras de inverno e verão visando melhor distribuição de forragem**. Bagé: [s.n.].

SOBRINHO, T. L. et al. Residual feed intake and relationships with performance of Nellore cattle selected for post weaning weight 1. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 4, p. 929–937, 2011.

SOUZA, C. B. et al. Estimation of Genetic Parameters and GWAS on Water Efficiency Traits in the Senepol Cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, 2024.

SPORE, T. et al. Evaluation of the Water Footprint of Beef Cattle Production in Nebraska. **J. Anim. Sci**, v. 98, n. S3, p. 142, nov. 2020.

THORNTON, R. F.; YATES, N. G. Some effects of water restriction on apparent digestibility and water excretion of cattle. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 19, p. 665–672, 1968.

UNDESA. **World Population Prospects 2019 Highlights**. [s.l.: s.n.].

WEST, C. P.; BAXTER, L. L. Water footprint of beef production on Texas High Plains pasture. **Water International**, v. 43, n. 6, p. 887–891, 18 ago. 2018.

WHITE, R. R. et al. Cow–calf reproductive, genetic, and nutritional management to improve the sustainability of whole beef production systems. **American Society of Animal Science**, n. 93, p. 3197–3211, 2015.

WINCHESTER, C. F.; MORRIS, M. J. Water Intake Rates of Cattle. **Journal of Animal Science**, v. 15, 1 ago. 1956. p. 722–740.

ZANETTI, D. et al. Prediction of water intake to Bos indicus beef cattle raised under tropical conditions. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. 3, p. 1364–1374, 1 mar. 2019.

4. ARTIGO

Artigo redigido nas normas do periódico Tropical Animal Health and Production

Associação entre consumo e eficiência do uso de água e de alimentos, por bovinos Nelore a pasto e em confinamento

Anny Caroline Della Vechia de Souza ^a, Laura Machado Berwerth^a, Aline Reginaldo dos Santos^a, Gabrielle Lemes Andrade^a, Eriklis Nogueira^b, Rodrigo da Costa Gomes^b, Gilberto Romeiro de Oliveira Menezes^b

^a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Avenida Senador Felinto Muller, 2443, Pioneiros, Campo Grande, MS, Brasil

^b Embrapa Gado de Corte, Avenida Rádio Maia, 830, Vila Popular, Campo Grande, MS, Brasil.

* Corresponding author.

Anny Caroline Della Vechia de Souza. e-mail: annycarolinedvs@gmail.com
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FAMEZ)
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)
Av. Senador Filinto Müller, 2443. Cidade Universitária. 79070-900.
Campo Grande-MS, Brazil

RESUMO

A produção de carne bovina, embora essencial para a segurança alimentar global, impõe grandes demandas sobre os recursos hídricos, com uma pegada estimada em 15.400 m³ por tonelada, o que reforça a importância de estratégias para aprimorar sua eficiência. Este estudo teve como objetivo avaliar a relação entre a eficiência no uso de água e de alimentos por bovinos Nelore em dois sistemas de produção: pastagem e confinamento. Foram utilizados 40 machos da raça Nelore, não castrados, com $12,87 \pm 1,13$ meses de idade e peso inicial médio de $301,21 \pm 28,58$ kg. O experimento foi conduzido na Embrapa Gado de Corte (Campo Grande - MS), com 118 dias na fase de pastagem (*Brachiaria brizantha* cvs. Marandu e Xaraés) e, após intervalo de 18 dias, 77 dias em confinamento. O consumo de água (CH), consumo de matéria seca (CMS), peso vivo médio (PVM) e ganho médio diário (GMD) foram monitorados por bebedouros e cochos eletrônicos, permitindo o cálculo da relação entre consumo hídrico:ganho médio diário (CH:GMD), eficiência alimentar (EA), consumo hídrico residual (CHR) e consumo alimentar residual (CAR). Os animais foram classificados em três grupos, com base no CHR: alto, médio e baixo consumo hídrico residual. Na fase a pasto, animais de alto CHR consumiram em média $23,5 \pm 1,7$ L/dia, com CH:GMD de $26,1 \pm 2,3$ L/kg, enquanto os de baixo CHR consumiram $17,4 \pm 1,6$ L/dia e apresentaram CH:GMD de $20,0 \pm 2,5$ L/kg ($p < 0,0001$). No confinamento, o CH variou de $22,0 \pm 1,8$ L/dia (alto CHR) a $18,1 \pm 1,9$ L/dia (baixo CHR), sem diferença significativa na CH:GMD entre os grupos. O CH a pasto apresentou correlação positiva elevada com a CH:GMD ($r = 0,81$) e com o CHR ($r = 0,90$) a pasto. O CMS correlacionou-se fortemente com o CAR ($r = 0,80$), e a CH:GMD em confinamento apresentou correlações negativas com CMS ($r = -0,60$) e EA ($r = -0,70$). Conclui-se que, embora animais com menor CHR a pasto sejam mais eficientes no uso de água neste regime, essa característica não está associada à eficiência alimentar no confinamento.

Palavras-chave: bovino; consumo hídrico; desempenho; nutrição; recursos naturais; sustentabilidade.

ABSTRACT

Beef production, while essential for global food security, places significant demands on water resources, with an estimated footprint of 15,400 m³ per ton, highlighting the importance of strategies to improve its efficiency. This study aimed to evaluate the relationship between water and feed efficiency in Nelore cattle under two production systems: pasture and feedlot. Forty non-castrated Nelore males were used, with an average age of 12.87 ± 1.13 months and initial body weight of 301.21 ± 28.58 kg. The experiment was conducted at Embrapa Beef Cattle (Campo Grande - MS), with 118 days in the pasture phase (*Brachiaria brizantha* cvs. Marandu and Xaraés) and, after an 18-day interval, 77 days in feedlot. Water intake (WI), dry matter intake (DMI), average body weight (ABW), and average daily gain (ADG) were monitored using electronic drinkers and feeders, allowing the calculation of the water intake-to-gain ratio (WI:ADG), feed efficiency (FE), residual water intake (RWI), and residual feed intake (RFI). Animals were classified into three groups based on RWI: high, medium, and low residual water intake. In the pasture phase, animals with high RWI consumed an average of 23.5 ± 1.7 L/day, with a WI:ADG of 26.1 ± 2.3 L/kg, whereas animals with low RWI consumed 17.4 ± 1.6 L/day and showed a WI:ADG of 20.0 ± 2.5 L/kg ($p < 0.0001$). In the feedlot, WI ranged from 22.0 ± 1.8 L/day (high RWI) to 18.1 ± 1.9 L/day (low RWI), with no significant difference in WI:ADG between groups. Pasture WI showed strong positive correlations with WI:ADG ($r = 0.81$) and RWI ($r = 0.90$). DMI was highly correlated with RFI ($r = 0.80$), while WI:ADG in feedlot conditions was negatively correlated with DMI ($r = -0.60$) and FE ($r = -0.70$). It is concluded that although animals with lower RWI on pasture are more water-efficient in this regimen, this trait is not associated with feed efficiency in feedlot conditions.

Keywords: bovine; hydric consumption; natural resources; nutrition; performance; sustainability.

Introdução

A crescente demanda por alimentos de origem animal, impulsionada pelo crescimento populacional e pela urbanização, tem pressionado os sistemas de produção a se tornarem mais eficientes e sustentáveis. Em regiões tropicais como o Brasil, onde predomina a bovinocultura de corte baseada em pastagens, o uso racional de recursos naturais, especialmente a água e os alimentos, é essencial para garantir a viabilidade econômica e ambiental da atividade pecuária. Nesse cenário, a eficiência no uso de insumos tem se consolidado como um dos principais pilares da produção animal moderna (GERBER *et al.*, 2013; FAO, 2019).

A água, componente vital para os processos fisiológicos e metabólicos dos ruminantes, representa um fator crítico, sobretudo diante das recorrentes estiagens e da crescente competição entre os setores produtivos pelo recurso hídrico (SCHLINK, NGUYEN e VILJOEN, 2010; SILANIKOVE, 1992). A variabilidade no consumo de água entre indivíduos, mesmo em condições ambientais semelhantes, tem motivado o uso de indicadores como o consumo hídrico residual (CHR) e a eficiência hídrica (EH), capazes de isolar efeitos não relacionados ao desempenho produtivo e identificar animais mais eficientes (PEREIRA *et al.*, 2021; AHLBERG *et al.*, 2019).

Paralelamente, a eficiência alimentar – frequentemente expressa por indicadores como o consumo alimentar residual (CAR) e a eficiência alimentar (EA) – também tem sido amplamente estudada como critério de seleção em programas de melhoramento genético (BERRY e CROWLEY, 2012; HERD e ARTHUR, 2009; KOCH *et al.*, 1963). A integração entre os indicadores de eficiência hídrica e alimentar oferece uma abordagem promissora para otimizar o desempenho dos rebanhos sem aumentar proporcionalmente o uso dos recursos, como demonstrado por SOUZA *et al.* (2024) e DRESSLER *et al.* (2023), que relataram correlações entre o consumo de água, ingestão de matéria seca e ganho de peso.

Apesar de se ter mais estudos para bovinos taurinos, sobretudo em sistemas de confinamento e com uso de tecnologia para mensuração individual, a aplicação desses conceitos em zebuínos – particularmente da raça Nelore, base da pecuária de corte brasileira – ainda é limitada (MENEZES *et al.*, 2018). A maioria dos estudos com zebuínos concentra-se em ambientes controlados, dificultando a extrapolação dos

dados para sistemas a pasto, que predominam no país e apresentam elevada variabilidade ambiental e nutricional.

Considerando essas lacunas, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência no uso da água e dos alimentos por bovinos da raça Nelore em dois sistemas contrastantes – pasto e confinamento –, explorando a correlação entre os indicadores e a consistência do desempenho individual em diferentes contextos produtivos. Busca-se, com isso, oferecer subsídios para a inclusão dessas características em programas de melhoramento genético voltados à sustentabilidade.

Material e métodos

Foram avaliados 40 machos da raça Nelore, oriundos do rebanho da Embrapa Gado de Corte, localizado no município de Campo Grande, no estado de Mato Grosso do Sul (20°26' de latitude sul, 54°38' de longitude oeste, a 569 metros de altitude). A região apresenta clima tropical, com temperatura média anual de 23,4 °C e pluviosidade média anual de 1.449 mm. Os testes foram conduzidos durante a safra 2023-2024, utilizando animais com idade média de $12,87 \pm 1,13$ meses e peso vivo inicial médio de $301,21 \pm 28,58$ kg.

Os novilhos foram mantidos durante cinco meses em duas áreas de pastagem: uma com 18,94 hectares de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e outra com 9,85 hectares de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés (Tabela 2). Os animais receberam suplementação mineral em cocho coberto ao longo de todo o período a pasto. Cada animal foi identificado por um brinco eletrônico (RFID), compatível com bebedouros eletrônicos equipados com estação de pesagem (Ponta®, Betim, MG, Brasil). Dois bebedouros eletrônicos foram instalados para o registro automático do consumo de água e do peso vivo dos animais em cada visita ao equipamento.

Durante o período a pasto, o consumo médio individual de água (CHP) e o ganho médio diário de peso (GMD) foram estimados com base nos registros automáticos dos equipamentos. Além disso, realizaram-se coletas de massa de forragem (kg/ha de MS) pela técnica dos padrões (HAYDOCK e SHAW, 1975) na entrada e na saída dos animais nas pastagens, com o objetivo de determinar o acúmulo de forragem e a relação folha:colmo. Também foi adotado o monitoramento da altura do pasto, e, ao se alcançar a meta estabelecida, aplicou-se a técnica do

pastejo simulado conforme EUCLIDES e MACEDO (1992). Todas as amostras de pasto coletadas foram submetidas à análise bromatológica, visando à caracterização da composição nutricional da forragem ofertada durante o experimento (Tabela 2).

Tabela 2 - Composição bromatológica das forrageiras *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés.

Parâmetro (%)	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Xaraés
Matéria Seca	90,10 ± 0,89	89,90 ± 1,47
Cinzas	10,20 ± 0,94	9,90 ± 0,88
Proteína Bruta	6,50 ± 1,87	7,60 ± 1,62
Fibra em Detergente Neutro	76,20 ± 2,75	75,40 ± 2,80
Fibra em Detergente Ácido	40,00 ± 3,24	38,70 ± 3,53
Digestibilidade in vitro da Matéria Orgânica	43,30 ± 4,80	41,50 ± 5,50
Lignina	4,60 ± 0,46	4,70 ± 0,72
Celulose	31,70 ± 2,27	31,40 ± 2,05
Sílica	3,30 ± 0,86	3,40 ± 1,34

Fonte: O autor (2025).

Média ± desvio-padrão.

Na fase subsequente, os animais foram alocados em confinamento por 77 dias, sendo 21 dias para adaptação e 56 dias de avaliação efetiva. Utilizou-se uma dieta total com proporção volumoso:concentrado de 65:35, composta por silagem de sorgo (55% de MS), milho grão seco moído fino (22,09%), sorgo grão seco moído fino (7%), casca de soja (10%), farelo de soja 45% (3,98%), núcleo mineral (1,13%) e ureia pecuária (0,8%). O fornecimento foi realizado *ad libitum*, com sobras de 5 a 10%.

O consumo de alimentos foi monitorado por meio de cochos eletrônicos (Ponta®, Betim, MG, Brasil), e o consumo de água e o peso vivo foram registrados por bebedouros eletrônicos. As variáveis estudadas incluíram: consumo hídrico diário (CH), consumo hídrico residual (CHR), ganho médio diário (GMD), consumo de matéria seca (CMS), eficiência alimentar (EA), consumo alimentar residual (CAR) e a razão entre o consumo hídrico e o ganho de peso (CH:GMD). As estimativas foram realizadas separadamente para os períodos de recria a pasto e terminação em confinamento.

O GMD foi calculado a partir da equação de regressão linear entre o peso vivo e os dias de avaliação. O CMS foi obtido pela média dos consumos diários de alimento multiplicados pelo teor de matéria seca da dieta. O CH foi a média diária do consumo de água. A razão CH:GMD foi estimada pela divisão do CH pelo GMD em cada fase. A eficiência alimentar (EA) foi calculada pela razão entre o GMD e o CMS.

O CAR foi calculado utilizando um modelo de regressão linear do CMS observado em função do peso metabólico médio (PVM) e do GMD, conforme proposto por KOCH et al. (1963). O CMS esperado foi obtido por regressão, e o CAR calculado como a diferença entre o CMS observado e o esperado. O CHR foi estimado de maneira análoga, substituindo-se CMS por CH no modelo de regressão. Para o cálculo do PVM, utilizou-se a média entre o peso vivo inicial (PVi) e o peso vivo final (PVf), estimados por regressão linear ao longo do período de avaliação, elevada à potência de 0,75: $[(PVi + PVf)/2]^{0,75}$.

As análises estatísticas foram realizadas no software SAS 9.4, incluindo correlação de Pearson, médias, desvio padrão, valores máximos e mínimos de cada variável nos dois ambientes. Os animais foram agrupados em três categorias com base no CHR: alto (CHR > +0,5 DP), médio (CHR entre -0,5 e +0,5 DP) e baixo (CHR < -0,5 DP). As comparações entre os grupos foram feitas por análise de variância, adotando delineamento em blocos ao acaso, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Resultados

A análise descritiva das variáveis de desempenho e consumo evidenciou ampla variação individual dos bovinos nas duas fases experimentais. Na fase a pasto, os animais apresentaram peso inicial médio de 268 kg e final de 413 kg, com GMD de $0,90 \pm 0,09$ kg/dia. O consumo hídrico (CH) foi de $20,32 \pm 3,04$ L/dia, com relação CH:GMD de $22,69 \pm 3,72$ L/kg, enquanto o consumo hídrico residual (CHR) variou entre -4,63 e 6,32 L/dia (média de $0,00 \pm 2,75$ L/dia). No confinamento, o peso inicial médio foi de 449 kg e o final de 521 kg, com GMD de $1,63 \pm 0,32$ kg/dia. O CH foi de $19,75 \pm 3,08$ L/dia, com CH:GMD de $12,74 \pm 3,81$ L/kg e CHR entre -4,93 e 5,29 L/dia (média de $0,00 \pm 2,83$ L/dia). O consumo de matéria seca (CMS) foi de $10,67 \pm 1,01$ kg/dia, a eficiência alimentar (EA) de $0,15 \pm 0,03$ kg/kg e o consumo alimentar residual (CAR) de $0,00 \pm 0,81$ kg/dia (variação de -2,03 a 1,92 kg/dia) (Tabela 3).

Tabela 3 - Estatística descritiva das variáveis de desempenho, consumo e eficiência de bovinos Nelore na fase a pasto e confinamento.

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão
Fase - pasto				
PV inicial, kg	224	337	268	28,25
PV final, kg	353	503	413	33,27
GMD, kg/dia	0,69	1,05	0,90	0,09
CH, l/dia	15,56	27,86	20,32	3,04
CHR, l/dia	-4,63	6,32	0,00	2,75
CH:GMD, l/kg	14,77	32,76	22,69	3,72
Fase - confinamento				
PV inicial, kg	391	546	449	36,81
PV final, kg	426	618	521	42,38
GMD, kg/dia	0,68	2,26	1,63	0,32
CH, l/dia	14,86	26,64	19,75	3,08
CH:GMD, l/kg	7,88	26,87	12,74	3,81
CHR, l/dia	-4,93	5,29	0,00	2,83
CMS, kg/dia	7,88	12,75	10,67	1,01
EA, kg/dia	0,07	0,20	0,15	0,03
CAR, kg/dia	-2,03	1,92	0,00	0,81

O autor (2025).

PV – peso vivo; CH – Consumo hídrico; CH:GMD – Relação entre consumo hídrico:ganho médio diário; CHR – Consumo hídrico residual; CMS – Consumo matéria seca; EA – Eficiência alimentar, CAR – Consumo alimentar residual.

Com base na classificação dos animais em grupos de alto, médio e baixo consumo hídrico residual a pasto (CHR), foram observadas diferenças significativas nos parâmetros zootécnicos. Na fase a pasto, os animais de alto CHR consumiram $23,50 \pm 0,49$ L/dia de água e apresentaram CH:GMD de $26,10 \pm 0,60$ L/kg, enquanto os de baixo CHR consumiram $17,40 \pm 0,49$ L/dia, com CH:GMD de $20,00 \pm 0,60$ L/kg ($p < 0,0001$). O CHR médio foi de 3,16 L/dia para o grupo alto, -0,05 L/dia para o grupo médio e -2,86 L/dia para o grupo baixo (Tabela 4).

No confinamento, os animais de alto CHR continuaram apresentando maior consumo de água ($22,00 \pm 0,50$ L/dia), enquanto os de baixo CHR consumiram $18,10 \pm 0,50$ L/dia ($p = 0,0026$), embora não tenha havido diferença significativa na relação entre consumo hídrico e ganho (CH:GMD, $p = 0,1008$). A média de CMS foi semelhante entre os grupos ($p = 0,2062$), assim como EA e CAR ($p > 0,05$), sugerindo que a eficiência alimentar no confinamento não foi influenciada pela classificação hídrica anterior (Tabela 4).

Tabela 4 - Desempenho, consumo e eficiência hídrica a pasto e em confinamento e consumo e eficiência alimentar em confinamento de machos Nelore, em função de sua classe de consumo hídrico residual (CHR), definida a pasto

Variável	Classe de CHR a pasto			EPM	P>F
	Alto	Médio	Baixo		
n	12	13	13		
Fase - pasto					
PV inicial, kg	266	269	267	4,580	0,9647
PV final, kg	417	411	411	5,400	0,8676
GMD, kg/dia	0,91	0,91	0,89	0,010	0,7078
CH, l/dia	23,50a	20,30b	17,40c	0,490	<0,0001
CH:GMD, l/kg	26,10a	22,30b	20,00b	0,600	<0,0001
CHR, l/dia	3,16a	-0,05b	-2,86c	0,450	<0,0001
Fase - confinamento					
PV final, kg	529	511	522	6,880	0,5740
GMD, kg/dia	1,69	1,51	1,7	0,050	0,2474
CH, l/dia	22,00a	19,40b	18,10b	0,500	0,0026
CH:GMD, l/kg	13,30	14,00	11,00	0,620	0,1008
CHR, l/dia	2,04a	-0,164ab	-1,72b	0,460	0,0020
CMS, kg/dia	10,90	10,30	10,90	0,160	0,2062
EA, kg/dia	0,16	0,15	0,16	0,004	0,5710
CAR, kg/dia	0,12	-0,18	0,07	0,130	0,6328

O autor (2025).

EPM: erro padrão da média, P>F = probabilidade de um erro tipo I. PV – peso vivo; CH – Consumo hídrico; CH:GMD – Relação entre consumo hídrico:ganho médio diário; CHR – Consumo hídrico residual; CMS – Consumo matéria seca; EA – Eficiência alimentar, CAR – Consumo alimentar residual. Letras diferentes nas linhas indicam diferença estatística.

As correlações fenotípicas revelaram relações importantes entre as variáveis de consumo e eficiência. O CHP apresentou correlação positiva forte com CH:GMDP ($r = 0,81$) e com CHRP ($r = 0,91$), indicando que maior consumo hídrico está relacionado à menor eficiência. Também foram observadas correlações moderadas entre CHP e CHC ($r = 0,74$), e entre CHP e CHRC ($r = 0,62$), sugerindo certa consistência entre os sistemas (Tabela 5).

O CHRP correlacionou-se fortemente com CH:GMDP ($r = 0,81$), e moderadamente com CHC ($r = 0,66$) e CHRC ($r = 0,69$). A variável CMS apresentou correlação positiva com o CAR ($r = 0,80$), apontando que maior ingestão de matéria seca está associada a maior valor residual. Por outro lado, a relação CH:GMDC correlacionou-se negativamente com CMS ($r = -0,60$) e EA ($r = -0,71$), reforçando que maiores consumos nem sempre resultam em maior eficiência alimentar. As variáveis CHP, CH:GMDP e CHRP, medidas a pasto, não se correlacionaram com CMS, EA e CAR no confinamento, evidenciando a especificidade dos padrões de eficiência em cada sistema (Tabela 5).

Tabela 5 - Correlação entre variáveis de consumo e eficiência alimentar e hídrica de bovinos Nelore em diferentes sistemas de produção.

	CH:GMDP	CHRP	CHC	CH:GMDC	CHRC	CMS	EA	CAR
CHP	0,81*	0,91*	0,74*	0,28	0,62*	0,01	0,11	-0,08
CH:GMDP		0,81*	0,57*	0,31	0,57*	-0,12	0,00	-0,12
CHRP			0,66*	0,31	0,69*	-0,01	0,00	-0,01
CHC				0,32	0,92*	-0,10	0,26	-0,26
CH:GMDC					0,41	-0,60*	-0,71*	-0,14
CHRC						-0,22	0,14	-0,27
CMS							0,19	0,80*
EA								-0,43*

O autor (2025).

* Coeficiente de Correlação de Pearson significativo no nível de 5%.; CHP – Consumo hídrico pasto; CH:GMDP – Relação entre consumo hídrico:ganho médio diário a pasto; CHRP – Consumo hídrico residual pasto; CHC – Consumo hídrico confinamento; CH:GMDC – Relação entre consumo hídrico:ganho médio diário confinamento; CHRC – Consumo hídrico residual confinamento; CMS – Consumo matéria seca; EA – Eficiência alimentar; CAR – Consumo alimentar residual.

Discussão

A análise dos dados obtidos evidenciou a complexidade das relações entre o consumo de água, o consumo alimentar e a eficiência em bovinos Nelore em condições tropicais. Os resultados bromatológicos revelaram diferenças marcantes entre as cultivares forrageiras utilizadas. O capim-marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) apresentou valores médios de 6,50% de proteína bruta (PB), 76,20% de fibra em detergente neutro (FDN) e 40,00% de fibra em detergente ácido (FDA), com variações moderadas entre os pontos amostrados. Por outro lado, o capim-xaraés (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés) teve maiores níveis de proteína (7,60%), menor teor de FDA (38,70%) e similar teor de FDN (75,40%), evidenciando um potencial nutricional ligeiramente superior, especialmente no teor proteico (Tabela 2).

Essa variação entre os cultivares pode influenciar diretamente o consumo de matéria seca (CMS) e o desempenho dos animais, como relatado por PIRES et al. (2022), que observaram redução significativa no consumo e no tempo de alimentação em animais mais eficientes, mesmo com oferta similar de forragem. A digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIG/MO) também variou, com média de 43,30% para Marandu e 41,50% para Xaraés, valores que, embora moderados, refletem a qualidade da fibra e seu impacto no metabolismo dos animais.

As estimativas de correlação obtidas a partir dos dados individuais dos animais revelaram padrões consistentes com a literatura recente. O consumo hídrico a pasto

(CHP) apresentou estimativa de correlação muito alta com a razão entre consumo hídrico e ganho (CH:GMDP) (0,81) e com o consumo hídrico residual a pasto (CHRP) (0,90), indicando que animais com maior ingestão de água tendem a ser menos eficientes hidricamente. O CHP também apresentou estimativas de correlação alta com o consumo hídrico no confinamento (CHC) (0,74) e com o consumo hídrico residual no confinamento (CHRC) (0,62), sugerindo certa persistência no perfil de consumo entre sistemas, como também descrito por Dressler et al. (2023).

De acordo com Souza et al. (2024), essas relações são compatíveis com estimativas de herdabilidade moderada para o consumo de água (0,20 a 0,26) e com estimativa de correlação muito alta entre consumo de água e consumo de matéria seca ($\sim 0,85$). Menezes et al. (2018) e Pereira et al. (2021) também relataram estimativas de correlação positiva moderada entre CHR e CAR ($\sim 0,50$), além de estimativas de correlação fraca entre CHR e ganho médio diário (GMD), sugerindo que é viável selecionar animais mais eficientes no uso da água sem comprometer o desempenho produtivo.

O consumo de matéria seca (CMS) apresentou estimativa de correlação positiva alta com o CAR (0,80), em concordância com Ahlberg et al. (2019), que observaram correlações significativas entre consumo de ração e ingestão de água, especialmente em dietas fornecidas *ad libitum*. A razão entre consumo hídrico e ganho no confinamento (CH:GMDC) apresentou estimativas de correlação negativa alta com o CMS ($-0,60$) e com a eficiência alimentar (EA) ($-0,70$), indicando que animais mais eficientes hidricamente consomem menos alimento e utilizam melhor os nutrientes disponíveis.

A análise das correlações entre os sistemas indicou independência entre as características de eficiência avaliadas a pasto e em confinamento. Por exemplo, CH:GMDP não apresentou correlação significativa com CAR ou EA, o que pode refletir as diferenças entre os ambientes, o manejo nutricional e a oferta de água. Esses resultados estão alinhados com as conclusões de Dressler et al. (2023) e Ahlberg et al. (2019), que ressaltam a importância do ambiente na expressão das características relacionadas ao consumo e à eficiência.

Conclusão

O consumo e a eficiência hídrica a pasto não possuem relação com o consumo e a eficiência alimentar em confinamento. No entanto, animais de menor consumo hídrico e eficiência hídrica a pasto também apresentaram tal comportamento em regime de confinamento.

Agradecimentos

À Embrapa Gado de Corte pela infraestrutura para a realização dos experimentos e análises laboratoriais, ao CNPq pela bolsa de estudos, à Fundect e Fundapam pelo suporte financeiro e à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) pelo apoio à aluna de pós-graduação.

Contribuição dos autores

Concepção do estudo: GROM, RCG

Execução: ACDVS, LMB, ARS, GLA

Análise de dados: RCG

Redação do manuscrito: ACDVS, GROM, RCG

Revisão do manuscrito: GROM, RCG

Todos os autores leram e aprovaram o manuscrito.

Financiamento

O estudo foi financiado pelo CNPq (bolsa de estudos), Embrapa (SEG #20.23.08.004.00.00) e Fundect (Auxílio financeiro #291/2022)

Declarações

Conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Disponibilidade de dados e materiais

Os conjuntos de dados gerados e/ou analisados durante o presente estudo estão disponíveis mediante solicitação do autor correspondente.

Aprovação ética

Os procedimentos experimentais utilizados nos experimentos foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais do Centro Nacional de Pesquisa em Gado de Corte da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, sob protocolo nº 01/2022.

Disponibilidade de código

Não aplicável.

Referências

- AHLBERG, C. M. et al. Characterization of water intake and water efficiency in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. 12, p. 4770–4782, 1 dez. 2019.
- BALCH, C. C. et al. Factors Affecting the Utilization of Food by Dairy Cows. **British Journal of Nutrition**, v. 7, n. 3, p. 212–224, set. 1953.
- BERRY, D. P.; CROWLEY, J. J. Residual intake and body weight gain: A new measure of efficiency in growing cattle. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 1, p. 109–115, jan. 2012.
- DRESSLER, E. A. et al. Heritability and variance component estimation for feed and water intake behaviors of feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v. 101, 2023.
- EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M. Avaliação de diferentes métodos de amostragem sob pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 21, jan. 1992.
- FAO. **The future of food and agriculture – Drivers and triggers for transformation**. 3. ed. Rome: Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership, 2022.
- GERBER, P. J. et al. **Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013.
- HAYDOCK, K. P.; SHAW, N. H. Methods-Comparative_Yield. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, v. 15, n. 76, p. 663–670, 1975.
- HERD, R. M.; ARTHUR, P. F. Physiological basis for residual feed intake. **Journal of animal science**, v. 87, n. 14 Suppl, 2009.
- KOCH, R. M. et al. Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 22, p. 486–494, 1963.
- MENEZES, G. R. O. et al. Genetic and phenotypic parameters for feed and water efficiency in Senepol cattle. **ICAR**, p. 167–171, 2018.
- PEREIRA, G. M. et al. Water requirements of beef production can be reduced by genetic selection. **Animal**, v. 15, n. 3, 1 mar. 2021.
- PIRES, B. V. et al. Effects of Feeding and Drinking Behavior on Performance and Carcass Traits in Beef Cattle. **Animals**, v. 12, n. 22, 1 nov. 2022.
- SCHLINK, A. C.; NGUYEN, M.-L.; VILJOEN, G. J. Water requirements for livestock production: a global perspective. **Rev. sci. tech. Off. int. Epiz**, n. 3, p. 603–619, 2010.
- SILANIKOVE, N. Effects of water scarcity and hot environment on appetite and digestion in ruminants: a review. **Livestock Production Science**, v. 30, p. 175–194, 1992.

SOUZA, C. B. et al. Estimation of Genetic Parameters and GWAS on Water Efficiency Traits in the Senepol Cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, 2024.