

Suplemento científico

Revista CFMV
Brasília DF
Ano XXVIII nº 90



44
Eletroneutralidade e *gamblegram* no equilíbrio ácido-base em grandes animais

55
Esporotricose: uma zoonose negligenciada

AS NORMAS PARA A SUBMISSÃO, BEM COMO AS ORIENTAÇÕES A AUTORES E REVISORES DE ARTIGOS, ESTÃO DISPONÍVEIS EM WWW.CFMV.GOV.BR. A TRAMITAÇÃO É FEITA POR MEIO EXCLUSIVAMENTE ELETRÔNICO.

ELETRONEUTRALIDADE E GAMBLEGRAM NO EQUILÍBRIO ÁCIDO-BASE EM GRANDES ANIMAIS

ELECTRONEUTRALITY AND GAMBLEGRAM IN THE ACID BALANCE BASED ON LARGE ANIMALS

RESUMO

As alterações do equilíbrio ácido-base são usualmente observadas por meio da hemogasometria, sendo esse exame fundamental para tratamento do paciente. O objetivo desta revisão é apresentar a importância da compreensão da teoria de eletroneutralidade e da sua representação gráfica (*gamblegram*), demonstrando sua aplicabilidade na rotina clínica. Para isso, dois casos clínicos em grandes animais são demonstrados. O primeiro caso é de um potro neonato com diarreia há seis dias, apresentando hiponatremia, hipocalemia e hipocloremia, com redução de SID_3 , determinando acidose metabólica por íons fortes com redução de HCO_3^- . O *gamblegram* nos primeiros dias de internamento apresentou a influência da hiponatremia e hiperclorêmia relativa sobre a concentração de HCO_3^- . Inicialmente, fez-se a reposição de HCO_3^- , Ca_2^{++} e K^+ . O segundo caso é de um bovino adulto com refluxo abomasal, que apresentou hipocloremia, hipocalemia e normonatremia; as alterações em questão resultaram em alcalose metabólica iônica. O *gamblegram* foi eficaz na representação gráfica dessas alterações e da sua repercussão sobre o equilíbrio ácido-base de maneira sucinta. As alterações nas concentrações de eletrólitos merecem atenção e a reposição deve ser imediata e constante. O *gamblegram* é uma ferramenta útil para os clínicos, sendo capaz de representar alterações complexas de maneira prática.

Palavras-chave: Acidose. Alcalose. Desidratação. Hiponatremia. Hiperclorêmia.

ABSTRACT

Changes in the acid-base balance are usually observed using blood gas analysis, and this test is essential for the treatment of the patient. The aim of this review is to present the importance of understanding the theory of electroneutrality and its graphical representation (*gamblegram*), demonstrating its applicability in clinical routine. For this, two clinical cases in large animals are discussed. The first case, a neonate foal with diarrhea during six days, presenting hyponatremia, hypokalemia and hypochloremia, with a reduction in SID_3 , determining metabolic acidosis by strong ions with a reduction in HCO_3^- . The *gamblegram* in the first days of hospitalization showed the influence of hyponatremia and relative hyperchloremia on the concentration of HCO_3^- . Initially, HCO_3^- , Ca^{2++} and K^+ were corrected. The second case, adult cattle with abomasal reflux, presented hypochloremia, hypokalemia and normonatremia, the alterations in question resulting in ionic metabolic alkalosis. The *gamblegram* was effective in representing these changes and their impact on the acid-base balance. Changes in electrolyte concentrations deserve attention and replacement must be immediate and constant. The *gamblegram* is a useful tool for clinicians, being able to represent complex changes in a practical way.

Keywords: Acidosis. Alkalosis. Dehydration. Hyponatremia. Hyperchloremia.

INTRODUÇÃO

Os distúrbios do equilíbrio hidroeletrolítico e ácido-base são observados em equídeos e ruminantes em inú-

meras enfermidades, tais como: acidose ruminal, diarreia, urolitíase, acidose tubular renal, nos casos em que existe refluxo abomaso ruminal, entre outros (SMITH; METRE;

PUSTRELA, 2019). Estudos recentes demonstram que aproximadamente 80% dos ruminantes possuem desequilíbrios dessa natureza (GARZÓN-AUDIR; LIVER-ESPINOSA; CASTAÑEDA-SALAZAR, 2020).

A hemogasometria (Tabela 1) é um método de avaliação e acompanhamento dos distúrbios hidroeletrólíticos e ácido-base em pacientes críticos e fornece informações sobre o acúmulo de íons (lactato) ou variação nas concentrações de eletrólitos, colaborando para a compreensão dos desequilíbrios (STÄMPFLI; GARY; CARLSON, 2001). Os resultados devem ser correlacionados com o quadro clínico. O primeiro ponto a ser observado é a existência de alterações no valor de pH sanguíneo, sofrendo influência de duas variáveis: pressão parcial de gás carbônico ($p\text{CO}_2$), de caráter respiratório, e alterações metabólicas, que refletem na concentração de bicarbonato (HCO_3^-) e no excesso de bases (BE), segundo a abordagem de Henderson-Hasselbalch.

TABELA 1. VALORES DE REFERÊNCIA DE pH, $p\text{CO}_2$, $p\text{O}_2$, BE, HCO_3^- , Na^+ , K^+ , Cl^- , SID_3 , Ca^{++} , A_{tot} , LACTATO L E AG NO SANGUE VENOSO DE BOVINOS E EQUINOS SAUDÁVEIS

	Bovinos	Equinos
pH ¹	7,31-7,53	7,32-7,44
$p\text{CO}_2$ (mmHg) ¹	35-44	38-46
$p\text{O}_2$ (mmHg) ¹	25-40	38-42
BE (mmol/L) ²	-5 a 5	-5 a 5
HCO_3^- (mEq/L) ¹	20-30	24-30
Na^+ (mEq/L) ¹	132-152	132-146
K^+ (mEq/L) ¹	3,9-5,8	2,6-5,0
Cl^- (mEq/L) ¹	97-111	99-109
SID_3 (mEq/L) ²	38-46	38-44
Ca^{++} (mEq/L) ³	4,8-6,2	5,6-6,5
A_{tot} (mEq/L) ^{5, 6}	14-18	12-18
AG (mEq/L) ³	14-25	10-26
Lactato L (mmol/L) ³	0-2	1,1-1,8

Notas: ¹Smith, Metre e Pustrela (2019); ²Constable (2014); ³Radostits *et al.* (2009); ⁴Stämpfli, Gary e Carlson (2001); ⁵Constable (2002); ⁶Constable (1997).

Na abordagem tradicional, observa-se a pressão dos gases sanguíneos e os valores do HCO_3^- e as concentrações de eletrólitos (Na^+ , K^+ e Cl^-) podem ser ignorados.

Dessa forma, a observação simples do pH, HCO_3^- e BE pode falhar em situações nas quais existam desequilíbrios de eletrólitos, sendo necessário utilizar uma abordagem complementar físico-química, avaliando a diferença de íons fortes (*Strong Ion Difference* – SID), que considera as mudanças em suas concentrações (principalmente, Na^+ , K^+ e Cl^-) e sua influência sobre o equilíbrio ácido-base (Tabela 2). Ainda, o Anion Gap (AG), dado por $\text{AG} = (\text{Na}^+ + \text{K}^+) - (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$, uma vez aumentado, indica a presença de ácidos orgânicos, sendo o principal deles o lactato, que está associado à hipoperfusão tecidual e resulta da glicólise anaeróbica (CONSTABLE, 1999a; STÄMPFLI; GARY; CARLSON, 2001; STÄMPFLI, 2005).

Deve-se também dar atenção às proteínas séricas (albumina e globulina) e ao fosfato, que possuem carga negativa (estão representados no *gamblegram* como A⁻), sendo responsáveis por causar anormalidades na homeostase e, consequentemente, influenciar os valores de HCO_3^- e BE. Dessa maneira, o *gamblegram* e a teoria de eletroneutralidade podem ser aplicados na rotina prática. O correto entendimento desses conceitos favorece o clínico em situações de distúrbios do equilíbrio ácido-base (STEWART, 1978; CONSTABLE, 1999a; STÄMPFLI; GARY; CARLSON, 2001; STÄMPFLI, 2005).

A fluidoterapia é o ponto mais importante da conduta terapêutica no paciente desidratado (SMITH; METRE; PUSTRELA, 2019). Na rotina clínica, é possível optar por duas vias para administração de fluidos: enteral (oro-esofágica, nasoesofágica, ororruminal, nasorruminal) e parenteral (intravenosa) ou associação das duas concomitantemente (RIBEIRO FILHO *et al.*, 2021). A escolha da via mais adequada deve levar em consideração, principalmente, o nível de desidratação. A via enteral é indicada em quadros com menor desidratação, diferentemente de situações moderadas e graves, que requerem a via intravenosa (FIELDING; MAGDESIAN, 2014; SMITH; BERTCHTOLD, 2014). Todavia, em campo, a via enteral é mais vantajosa, devido à administração de grandes volumes em um curto período (RIBEIRO FILHO *et al.*, 2011; DIAS *et al.*, 2021). Em condições hospitalares, a via intravenosa é geralmente utilizada em função da sua rápida efetividade. A quantidade de fluidos a ser administrados leva

TABELA 2. VARIÁVEIS COMPLEMENTARES DA HEMOGASOMETRIA EM GRANDES ANIMAIS E SUA INTERPRETAÇÃO CLÍNICA

	Fórmula	Alteração	Significado
SID ₃	$(\text{Na}^+ + \text{K}^+) - (\text{Cl}^-)^*$	Elevação	Alcalose metabólica por íons fortes (hipocloremia ou hipernatremia)
		Diminuição	Acidose metabólica por íons fortes (hiponatremia e hiperclorémia)
AG	$(\text{Na}^+ + \text{K}^+) - (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$	Elevação	Acidose metabólica por ácidos orgânicos (hiperlactatemia é geralmente a causa mais comum)
Concentração total de tampões não voláteis (A _{tot})	2,2 x PPT (g/dL) Equinos	Elevação	Acidose metabólica por tampões não voláteis (hiperproteinemia)
	3,6 x PPT (g/dL) Bovinos		
		Diminuição	Alcalose metabólica por tampões não voláteis (hipoproteinemia)

Notas: AG = diferença de ânions não mesurados (lactato, ácido urêmico e cetoácidos). A_{tot} = calculado tomando como base o valor da proteína, mas não considera o valor do fosfato. * Lactato também é considerado um íon forte e pode ser incluído no cálculo, mas, como permanece em valores de 1 a 2 mmol/L em indivíduos saudáveis, não afeta o cálculo nesses animais.

em consideração a reposição (porcentagem de desidratação), manutenção (requerimento diário) e perdas futuras (excreção aumentada prevista) (DEARO; REICHMANN, 2001). Para informações mais detalhadas sobre o referido assunto, os autores indicam a leitura de dois trabalhos de revisão publicados recentemente (CONSTABLE *et al.*, 2021; RIBEIRO FILHO *et al.*, 2021).

O entendimento das alterações de maneira global favorece a compreensão dos distúrbios orgânicos e a escolha da fluidoterapia. Este trabalho tem por objetivo demonstrar o entendimento do conceito de *gamblegram* e da teoria de eletroneutralidade, bem como sua aplicação na interpretação do exame de hemogasometria em casos clínicos de grandes animais (KIRSCH; SANDERSEN, 2020; GOMEZ *et al.*, 2020).

ELETRONEUTRALIDADE E GAMBLEGRAM

O conceito de eletroneutralidade se aplica a todos os líquidos orgânicos e define que o total de cargas positivas (cátions) deve ser obrigatoriamente mantido igual

ao total de cargas negativas (ânions), ou seja, as concentrações de cátions e de ânions devem variar de forma dependente para obedecer a esse princípio.

O conceito de SID é uma informação importante na interpretação do exame hemogasométrico, uma vez que determina a diferença entre os cátions e os ânions no plasma. Os íons fortes estão dissociados em soluções, considerando-se cátions fortes o sódio, potássio, magnésio e cálcio e ânions fortes principalmente o cloreto e o lactato (SCHOSTER; STÄMPFLI, 2016). Na rotina clínica de grandes animais, utiliza-se a SID₃ [SID₃ = (Na⁺ + K⁺) - Cl⁻], dando atenção aos eletrólitos presentes em maior concentração. O valor fisiológico para a SID é de aproximadamente 40 mmol/L. Valores inferiores indicam acidose metabólica por íons fortes e valores superiores, alcalose metabólica (CONSTABLE, 1999a, 2014). Quando existe a possibilidade de dosar outros íons, como Mg⁺⁺, Ca⁺⁺ e lactato, estes devem ser incluídos na fórmula, com o intuito de obter resultado mais fidedigno das alterações eletrolíticas plasmáticas (SMITH; METRE; PUSTRELA, 2019).

O numeral subscrito na sigla deve ser correspondente à quantidade de moléculas utilizadas no cálculo, como, por exemplo, $SID_4 = (Na^+ + K^+ + Ca^{++}) - (Cl^-)$ (CONSTABLE, 2014). Como a concentração de lactato é de 1 a 2 mmol/L em indivíduos saudáveis, a SID não se altera mesmo com a inclusão desse valor (SCHOSTER; STÄMPFLI, 2016).

Quadros de hiperclorêmia e hiponatremia (comumente observados em animais com diarreia) levam à redução dos valores de SID_3 e, consequentemente, de HCO_3^- , resultando em acidose metabólica. O Cl^- em excesso (exemplo: acidose tubular renal) implica o aumento da concentração de ânions. Com isso, o organismo elimina HCO_3^- pela reação do ácido carbônico, mantendo a eletroneutralidade (Figura 1B). Algo semelhante ocorre nos estados de hiponatremia (Figura 1C), também acarretando acidose metabólica. Neste caso, a concentração de cátions torna-se inferior e existe a eliminação de HCO_3^- , para a manutenção da igualdade (CONSTABLE, 2003; MÜLLER *et al.*, 2012).

A principal alteração eletrolítica responsável pela alcalose metabólica é a hipocloremia (comumente observada em equinos com sudorese intensa e nos bovinos com refluxo abomaso ruminal decorrente de ectopias abomasais, úlceras de abomaso, abomasite, obstrução pilórica, entre outros) (Figura 1D). Diferentemente dos casos anteriores, agora existe a necessidade de um incremento na concentração de ânions, que ocorre pela retenção de HCO_3^- (STÄMPFLI; GARY; CARLSON, 2001).

As proteínas séricas possuem importância sobre o equilíbrio ácido-base. O A^- , tal como aparece no *gamblegram*, significa a carga total dos tampões não voláteis ou, ainda, a força iônica dos ânions fracos, contemplando carga negativa das proteínas (albumina e globulinas) e do fosfato. Não é exatamente o valor do A_{tot} , mas é próximo; isso porque o fosfato não entra no cálculo do A_{tot} . A^- aumenta em casos de hiperproteinemia ou hiperfosfatemia e diminui por hipoproteinemia.

Essas moléculas ocupam espaço na coluna dos ânions e, consequentemente, suas alterações repercutem em desequilíbrios ácido-base. Na hiperproteinemia (Figura 1E), assim como na hiperfosfatemia, valores elevados de A^- podem ocasionar acidose metabólica por áci-

dos fracos não voláteis (CONSTABLE, 1997, 2001, 2014). Valores reduzidos de A_{tot} (representada por A^- no *gamblegram*), observados na hipoproteinemia (Figura 1F), podem resultar em alcalose metabólica por ácidos fracos não voláteis (alcalose hipoproteinêmica). Em ambos os casos, ocorre a perturbação da eletroneutralidade e a correção é efetuada pelo ajuste da concentração de HCO_3^- , conforme discutido anteriormente (STÄMPFLI; GARY; CARLSON, 2001; STÄMPFLI; SCHOSTER; CONSTABLE, 2014).

Alterações do AG estão relacionadas com desequilíbrios ácido-base, estando a elevação de seus valores ligada à presença de acidose metabólica. O AG é o conjunto de A^- (proteínas plasmáticas e fosfato) e ácidos orgânicos não mensurados, como o lactato L e os cetoácidos, por exemplo. Elevações do AG ocorrem devido à hiperproteinemia e hiperfosfatemia, caracterizando acidose metabólica por ácidos fracos não voláteis, e à hiperlactatemia (casos em que há hipoperfusão tecidual, acidose láctica ruminal aguda, síndrome do bebedor ruminal ou síndrome cólica) ou hipercetonemia (cetose), caracterizando a acidose metabólica por ácidos orgânicos.

O *gamblegram* (Figura 1A) ilustra as concentrações dos principais íons e facilita a visualização das alterações presentes. Ele foi criado pelo pediatra J. L. Gamble, em 1939, e, por esse motivo, ficou conhecido como *gamblegram* (STEWART, 1981). É composto por duas colunas, que representam os cátions (esquerda) e os ânions (direita). As moléculas de carga positiva comumente avaliadas são: sódio (Na^+), potássio (K^+) e cálcio (Ca^{++}). Na coluna dos ânions, observam-se o cloreto (Cl^-), íon bicarbonato (HCO_3^-), carga negativa das proteínas séricas e fosfato (A^-), lactato (D e L), além dos ânions não mensuráveis (CONSTABLE, 1999a, 2014; MUIR, 2017).

No *gamblegram*, as colunas (cátions e ânions) estão em igualdade e, quando os componentes sofrem mudanças em suas concentrações, o organismo utiliza mecanismos com o objetivo de manter a igualdade (CONSTABLE, 2014). Essa representação gráfica permite ao clínico melhor compreensão do equilíbrio ácido-base, elucidando as inter-relações de eletrólitos, proteínas e sua repercussão no equilíbrio ácido-base. Dessa forma, é possível rapidamente observar as alterações sistêmicas, as quais

SUPLEMENTO CIENTÍFICO

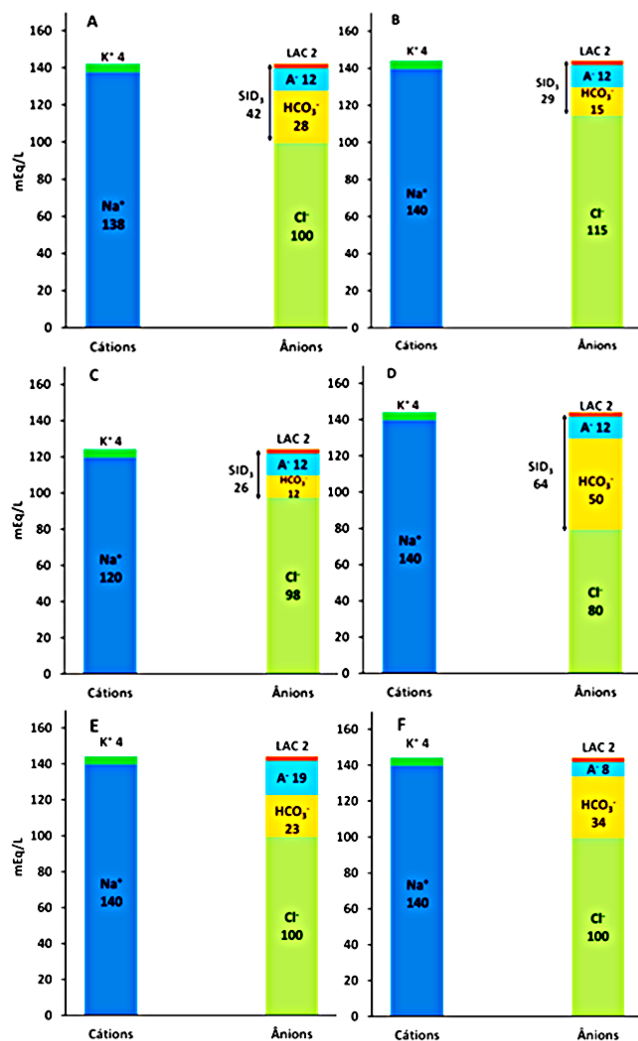


Figura 1. Gamblegram com valores de Na⁺, K⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, A, lactato e SID₃: (A) valores fisiológicos; (B) hipercloremia com acidose metabólica; (C) hiponatremia com acidose metabólica; (D) hipocloremia com alcalose metabólica; (E) hipoproteinemia com alcalose metabólica; (F) hiperproteinemia com acidose metabólica.

muitas vezes não seriam facilmente identificadas apenas com a utilização da hemogasometria (STÄMPFLI; GARY; CARLSON, 2001).

A reação do ácido carbônico ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$) é o primeiro sistema tampão para manutenção da homeostase. Nesse caso, há possibilidade de a concentração plasmática do HCO_3^- ser diminuída ou aumentada, de forma dinâmica, de acordo com a necessidade que se apresenta (STÄMPFLI; GARY; CARLSON, 2001).

A avaliação do *gamblegram* também pode ser um indicador do aumento dos valores de lactato em casos

em que não foi diretamente dosado, lembrando que, em animais clinicamente saudáveis, seus valores não afetam o cálculo (Tabela 2). Em pacientes com aumento do lactato, ocorre elevação no valor do AG, indicando a presença de um quadro de acidose metabólica por ácidos orgânicos (MÜLLER *et al.*, 2012; STÄMPFLI; SCHOSTER; CONSTABLE, 2014).

Deve-se salientar que as perturbações nas concentrações eletrolíticas e de proteínas ocorrem de maneira simultânea em animais doentes, demonstrando a complexidade desses quadros (CONSTABLE, 2014).

ESCOLHA DE SOLUÇÕES PARA FLUIDOTERAPIA

A fluidoterapia, além de corrigir a desidratação, deve auxiliar na correção dos desequilíbrios eletrolítico e ácido-base instalados. Para tanto, a solução eletrolítica a ser administrada precisa ser escolhida de forma adequada a cada caso. É um procedimento fundamental na conduta terapêutica de diversos casos clínicos. A utilização de uma solução isotônica que auxilie na correção dos distúrbios ácido-base já instalados é essencial para a resolução das enfermidades (MUIR, 2017). Por sua vez, a administração de cristaloides com características semelhantes às da alteração já existente pode acentuar os desequilíbrios. Dessa forma, deve-se utilizar uma solução com potencial oposto ao das alterações instaladas para que a correção seja efetivamente promovida (LEVETOWN, 2002; BLUMBERG *et al.*, 2018).

As soluções isotônicas mais utilizadas na Medicina Veterinária são a solução salina (NaCl 0,9%), Ringer Simples (RS), Ringer com Lactato de Sódio (RL) e glicofisiológica 5% (DEARO, 2001). Cada solução possui diferentes concentrações de eletrólitos e, consequentemente, os valores de SID divergem entre elas (Figura 2B, C e D) (MÜLLER *et al.*, 2012; MUIR, 2017). Estudos *in vitro* demonstraram que soluções com SID superior a 25 mEq/L possuem potencial alcalinizante (CONSTABLE, 2004, 2014), havendo correlação linear entre a capacidade alcalinizante e o valor de SID (MORGAN; VENKATESH; HALL, 2004). Na rotina clínica, considera-se que soluções com SID3 próximo de 0 mEq/L têm potencial acidificante (BLUMBERG *et al.*, 2018), enquanto soluções com SID su-

perior a 40 mEq/L possuem potencial alcalinizante, uma vez que elevam a SID plasmática.

As soluções de RS e NaCl 0,9% são indicadas para pacientes com alcalose metabólica hipoclorêmica, pois o

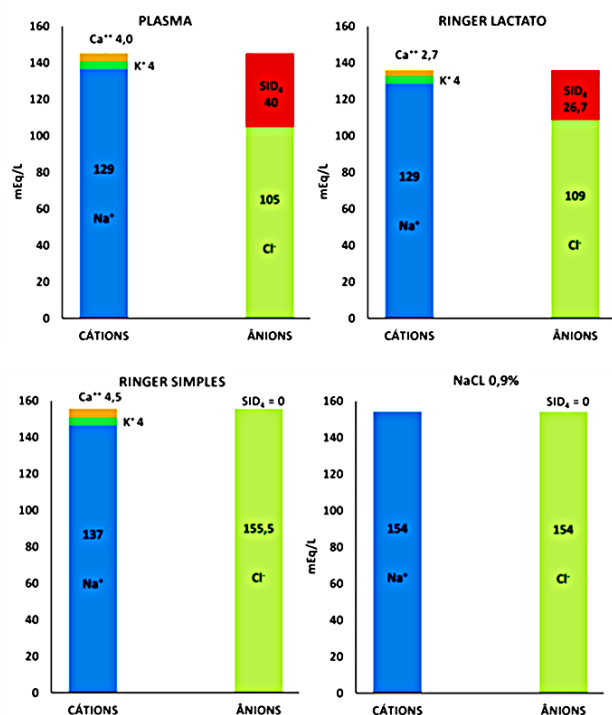


Figura 2. Gamblegram com valores de eletrólitos e SID₄ das principais soluções isotônicas utilizadas na rotina de grandes animais (valores obtidos no rótulo dos produtos).

valor de SID₃ de ambas é de 0 mEq/L. Nos indivíduos que não possuem esses desequilíbrios, a administração intravenosa rápida e de grandes volumes provoca hiperclorêmia iatrogênica e redução do pH sanguíneo (LEVETOWN, 2002; PEREIRA *et al.*, 2017; BLUMBERG *et al.*, 2018). Diferentemente, as soluções de bicarbonato de sódio (1,3%, 6% e 8,4%), por possuírem SID elevada, acima de 150 mEq/L, são indicadas para a reversão da acidose metabólica e da hiperclorêmia e correção da hiponatremia (STÄMPFLI, 2005; MUIR, 2017).

Embora a solução de RL seja apontada como uma solução alcalinizante, o seu potencial de alcalinização é, de fato, muito reduzido e seria mais correto admitir que

é uma solução com efeito neutro. Isso se deve à sua SID₃, que é ligeiramente superior a 25 mEq/L e, apesar disso, não é capaz de ter o mesmo efeito observado em condições laboratoriais (MORGAN; VENKATESH; HALL, 2004; MUIR, 2017) (Tabela 3). Quando administrada em animais equilibrados, não provoca desequilíbrios eletrolíticos ou ácido-base iatrogênicos (COSENZA *et al.*, 2013), o que comprova que é segura para administração em grandes volumes. Quando infundida em ovelhas com acidose metabólica, por outro lado, é incapaz de reverter o desequilíbrio (COSENZA *et al.*, 2015). A modificação do RL, aumentando a concentração de lactato e reduzindo a de Cl⁻, resulta em elevação da SID₃ da solução, o que efetivamente gera efeito alcalinizante (JUNQUEIRA *et al.*, 2015) e garante a eficácia para corrigir casos de acidose metabólica (ROMÃO *et al.*, 2017).

DESCRIÇÃO DE CASOS CLÍNICOS

TABELA 3. CONCENTRAÇÃO DE ELETRÓLITOS E SID₄ DAS PRINCIPAIS SOLUÇÕES ISOTÔNICAS UTILIZADAS NA MEDICINA VETERINÁRIA

Solução	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Cl ⁻	Sid ₄	Efeito	pH
NaCl 0,9%	154	0	0	154	0	Acidificante	5,5
Glicofisiológica	154	0	0	154	0	Acidificante	5,5
RS	147	4,5	4	155,5	0	Acidificante	6,0
RL	129	4,5	2,7	109	26,7	Neutro	6,5

Para interpretação dos resultados descritos a seguir, deve-se considerar que o exame hemogasométrico foi utilizado para determinar as seguintes variáveis sanguíneas: pH, pCO₂, pO₂, HCO₃⁻, BE, AG, Na⁺, K⁺, Cl⁻ e Ca⁺⁺. Os valores de SID₃ e A_{tot} foram obtidos aplicando as fórmulas: SID₃ = (Na⁺ + K⁺) - (Cl⁻) e A_{tot} = PPT (g/dL) x 2,2 (equinos) e x 3,6 (bovinos). As amostras foram obtidas por meio de punção da veia jugular, colhidas em seringas de 2 mL contendo 80 UI de heparina.

Caso 1: diarreia em potro neonato

Quarto de Milha, macho, 30 dias de idade, apresentando diarreia neonatal há seis dias. Apresentava apatia, hiporexia, mucosas congestas, fezes esverdeadas

SUPLEMENTO CIENTÍFICO

e diarreicas, hipermotilidade intestinal e desidratação de 10%. Os valores de hemogasometria ao longo do tempo de tratamento estão demonstrados na Tabela 4 e o *gamblegram* do primeiro, terceiro, sexto e oitavo dia estão apresentados na Figura 3A, B, C e D.

A interpretação dos eletrólitos no primeiro exame

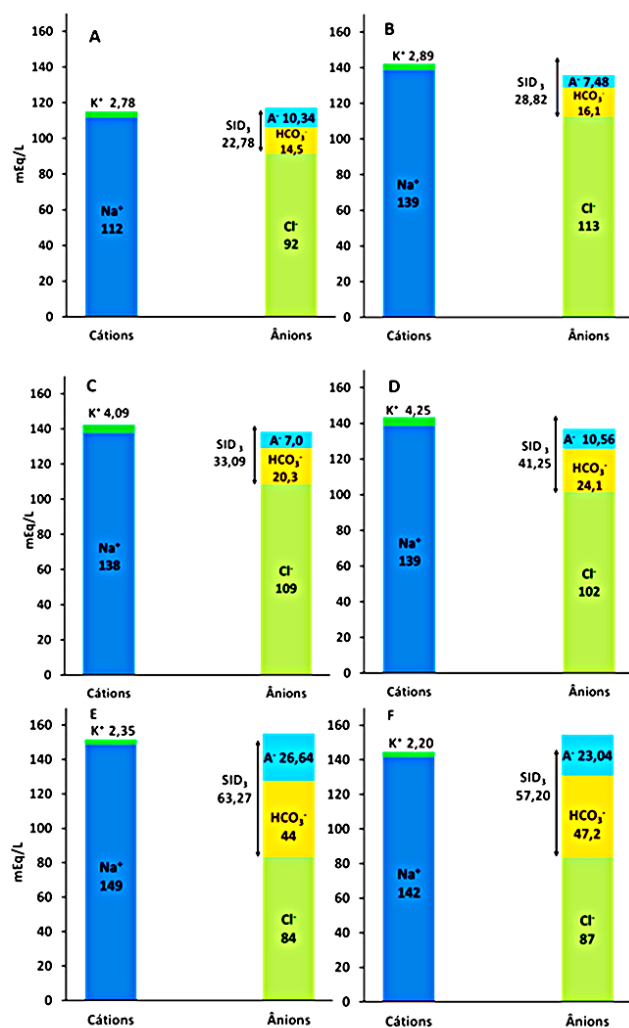


Figura 3. Gamblegram com valores de Na⁺, K⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, A⁻ e SID₃ de um potro neonato com diarreia ao longo do tempo: (A) 1º dia; (B) 3º dia; (C) 6º dia; (D) 8º dia de internamento. Bovino com refluxo abomasal ao longo do tempo: (E) 1º dia; (F) 3º dia.

rizando a condição de acidose metabólica por íons fortes, com redução dos valores de HCO₃⁻ e de BE (CONSTABLE, 1999a, 2014).

A solução de RL foi selecionada para a reposição (86 kg x 10% = 8,6 L), manutenção (100 mL/kg) e perdas futuras (50 mL/kg) em função do quadro de diarreia (DEARO; REICHMANN, 2001; FIELDING; MAGDESIAN, 2014). Para reposição de Na⁺ e de HCO₃⁻, utilizou-se a solução de bicarbonato de sódio 8,4% (NaHCO₃), por via intravenosa, no primeiro e terceiro dia. O volume infundido foi determinado pela equação: HCO₃⁻ (mmol) = BD (déficit de bases em mmol/L) x PV (peso vivo em kg) x 0,3 (FIELDING; MAGDESIAN 2014; SMITH; BERCHTOLD, 2014), o que resultou no volume de 310 mL no primeiro dia e de 273 mL no terceiro dia. Além disso, foram administrados 100 mL de gluconato de cálcio e incluídos 10 mL de KCl 19,1% em cada litro de RL, com o objetivo de elevar a concentração de K⁺ nos dois primeiros dias de tratamento.

O tratamento também consistiu no uso de antimicrobianos (penicilina potássica 30.000 UI/kg IV QID; ampicilina 20/kg IV SID – durante seis dias), anti-inflamatório (flunixin meglumine 1,1 mg/kg IV SID – por quatro dias) e antiparasitário (febendazol 7,5 mg/kg VO – dose única).

Os distúrbios descritos estão frequentemente associados aos casos de diarreia em grandes animais, decorrente da alteração nas taxas de absorção e secreção de eletrólitos no intestino (CONSTABLE, 2014; CONSTABLE *et al.*, 2021). Em potros com diarreia, o RL é a solução de escolha para a reposição e manutenção, uma vez que possui composição eletrolítica (Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺ e Cl⁻) relativamente parecida com a do plasma e valor de SID₃ próximo de 27 mEq/L, contribuindo para a correção da hiponatremia, da hiperclorêmia relativa e, em menor grau, da hipocalemia (CONSTABLE, 2014; SMITH; BERCHTOLD, 2014).

A tendência à hipocalemia esteve presente nos três primeiros dias de tratamento. Entretanto, deve-se entender que esses valores estão superestimados em casos de acidose/acidemia, devido à troca de K⁺ do Líquido Intracelular (LIC) com H⁺ do Líquido Extracelu-

de hemogasometria identificou hiponatremia, hipocalemia e normocloremia (ou seja, hiperclorêmia relativa). Essas alterações determinam a redução da SID₃, caracte-

lar (LEC), o que eleva as concentrações plasmáticas de K^+ . Esse movimento de íons tem função tamponante, retirando íons hidrogênio do LEC. É comum observar a redução drástica de K^+ após a correção da acidose metabólica com a administração de solução de $NaHCO_3^-$ (STÄMPFLI, 2005).

Deve-se destacar a importância da suplementação de K^+ , visto que soluções comerciais possuem concentrações baixas desse eletrólito (DEARO, 2001), sendo necessária a reposição adicional por meio de soluções com concentrações superiores a 20 mEq/L de K^+ (BOER; CORLEY, 2006a; SATTler; FECTEAU, 2014). Nos casos de hipocalcemia leve a moderada (2,5 a 2,0 mEq/L de K^+), a via de reposição sugerida para equinos é a nasogástrica, fornecendo até 0,4 g/Kg de KCl, de duas a três vezes ao dia (BOER; CORLEY, 2006a).

Para bovinos, pode-se repor o K^+ pela via oral com a administração de Solução Eletrolítica Oral (SEO) acrescida de 0,6 a 1,0 g/Kg de KCl por dia (SATTler; FECTEAU, 2014). Em situações mais acentuadas (> 2,0 mEq/L de K^+), prefere-se a utilização da via intravenosa, não excedendo a taxa de infusão de 0,5 mEq de K^+ /kg/h (BOER; CORLEY, 2006a; FIELDING; MAGDESIAN,

2014; SATTler; FECTEAU, 2014), o que equivale a 20 mL de KCl 19,1% para cada 100 kg por hora. A infusão de grandes quantidades merece atenção, em função das alterações cardíacas, como bradicardia e arritmias (BOER; CORLEY, 2006a).

Em equinos, a administração diária de Mg^{2+} está entre 25 e 150 mg/kg/dia, podendo ser fornecida pelas vias enteral e parenteral (BOER; CORLEY, 2006a; FIELDING; MAGDESIAN, 2014). Os valores de reposição de P⁻ podem ser extrapolados da dose utilizada em pequenos animais – 0,03 a 0,06 mg/kg/h (BOER; CORLEY, 2006b; DIBARTOLA; WILLARD, 2012).

Com o decorrer do tratamento, houve melhora progressiva dos desequilíbrios instalados, com o restabelecimento do pH, BE, HCO_3^- , Na^+ , K^+ e SID_3 para os valores de referência da espécie e tendência de normalização do K^+ . No terceiro dia de tratamento, foi observada marcante hiperclôremia, que determina os reduzidos valores de SID_3 e HCO_3^- , mantidos até o sexto dia. Durante todo esse período (primeiro ao sexto dia de tratamento), a acidose metabólica esteve associada à diferença de íons, pois os valores de AG estavam no intervalo de referência. Isso indica que

TABELA 4. VALORES SANGÜÍNEOS DO pH, pCO_2 , pO_2 , BE, HCO_3^- , Na^+ , Cl^- , SID_3 , Ca^{++} , A_{tot} E AG DE POTRO NEONATO COM DIARREIA, DURANTE OS DIAS DE INTERNAÇÃO

	1º dia	2º dia	3º dia	4º dia	6º dia	8º dia	IR
pH	7,16	7,31	7,30	7,31	7,40	7,42	7,32-7,44
pCO_2 (mmHg)	40,6	33,0	33,8	34,8	33,9	34,4	38-46
pO_2 (mmHg)	49	49	55	37	49	40	38-42
BE (mmol/L)	-12,0	-10,6	-8,8	-7,9	-3,3	-2,0	-5-5
HCO_3^- (mmol/L)	14,5	16,3	16,1	16,9	20,3	24,1	24-30
Na^+ (mmol/L)	112	133	139	140	138	139	132-146
K^+ (mmol/L)	2,78	2,37	2,89	3,82	4,09	4,25	2,6-5,0
Cl^- (mmol/L)	92	107	113	112	109	102	99-109
SID_3 (mmol/L)	22,78	28,32	28,82	31,82	33,09	41,25	38-44
Ca^{++} (mg/dL)	4,0	6,08	6,48	6,72	6,48	6,80	5,6-6,5
A_{tot} (mmol/L)	10,34	8,80	7,48	7,96	7,00	10,56	12-18
AG (mmol/L)	6,5	9,7	9,7	10,4	8,7	16,0	10-26

não houve o acúmulo excessivo de ácidos orgânicos (lactato L e D), diferentemente da SID₃, que normalizou somente no oitavo dia. Essas duas informações, analisadas em conjunto, demonstram que a reposição da volemia simplesmente não é suficiente para correção dos desequilíbrios.

A fluidoterapia utilizada neste caso foi capaz de corrigir os principais desequilíbrios observados (hiponatremia e hipercloremia), detendo a solução de NaHCO₃ 8,4% elevada concentração de Na⁺ (1.000 mEq/L) e ausência de Cl⁻ (0 mEq/L). Em consequência da sua formulação, a SID desta solução é de 1.000 mEq/L, o que explica o poder alcalinizante (MUIR, 2017), resultando no restabelecimento do valor de SID₃ quando da sua utilização.

A administração de RL para os volumes de manutenção é, dentre as opções de soluções isotônicas comerciais, a mais indicada, uma vez que sua SID é a maior entre elas. Assim, devem-se utilizar soluções adequadas (RL); a reposição contínua de Ca⁺⁺ e K⁺ e o fornecimento pontual de Mg⁺⁺ e P⁻ (BOER; CORLEY, 2006a; BOER; CORLEY, 2006b) são menos importantes

no contexto de desequilíbrios eletrolítico e ácido-base, mas merecem atenção e devem ser lembrados em casos mais acentuados.

Caso 2: compactação abomasal

Bovino, *Aberdeen angus*, macho, dez meses de idade, com quadro de timpanismo gasoso há dois dias. Ao exame físico, apresentava apatia, hiporexia, mucosas congestas, atonia ruminal, som metálico à percussão auscultatória no quadrante dorsal esquerdo, tempo de preenchimento capilar de três segundos e desidratação estimada de 7,5%. Na análise do líquido ruminal, o teor de cloretos estava elevado (117 mmol/L). Os valores de hemogasometria estão demonstrados na Tabela 5 e a Figura 3E e F apresentam o *gamble-gram* obtido. Deve-se ressaltar que as alterações observadas no exame físico, análise de líquido ruminal e hemogasometria são indicativas de refluxo abomaso ruminal, sendo os principais diagnósticos diferenciais as úlceras de abomaso, abomasite, compactação abomasal, obstrução pilórica, indigestão vagal (estenose funcional posterior) e compactação de abomaso.

TABELA 5. VALORES SANGÜÍNEOS DO pH, pCO₂, pO₂, BE, HCO₃⁻, Na⁺, Cl⁻, SID₃, A⁻ E AG DE BOVINO COM COMPACTAÇÃO DE ABOMASO, DURANTE OS DIAS DE INTERNAÇÃO

	1º dia	2º dia	3º dia	IR
pH	7,555	7,542	7,540	7,31-7,53
pCO ₂ (mmHg)	51,2	68,6	56,6	35-44
pO ₂ (mmHg)	59,3	28,3	65,7	25-40
BE	22,0	28,9	24,8	-5-5
HCO ₃ ⁻ (mEq/L)	44,0	57,6	47,2	25-40
Na ⁺ (mmol/L)	149	145	142	132-152
K ⁺ (mmol/L)	2,35	2,09	2,20	3,9-5,8
Cl ⁻ (mmol/L)	84	78	87	97-111
SID ₃ (mmol/L)	63,27	69,09	57,20	38-46
A _{tot} (mmol/L)	26,64	20,88	23,04	14-18
AG (mmol/L)	12,9	12,2	10,2	14-20

Inicialmente, foi realizada sondagem ororruminal para eliminação do excesso de gás no rúmen. Posteriormente, optou-se pela administração de antimicrobiano (florfenicol 30 mg/kg IM a cada 48h,

durante dez dias), terapia anti-inflamatória (flunixim meglumine 2,2 mg/kg IV SID, por cinco dias) e reposição hidroeletrólítica, com solução fisiológica (NaCl 0,9%) pela via intravenosa (275 kg x 7,5% = 20,6 L)

(DEARO; REICHMANN, 2001), adição de gluconato de cálcio 22% (1 mL/kg) e cloreto de potássio 19,8% (10 mL/L). A fluidoterapia de manutenção foi realizada pelo fornecimento de SEO (10 L/dia), associada à transfaunação (10 L/dia). Esses procedimentos foram realizados durante três dias consecutivos.

Na hemogasometria inicial, identificaram-se hipernatremia, hipocalemia e hipocloremia. As alterações em questão refletiram na elevação da SID_3 , caracterizando quadro de alcalose metabólica por íons fortes, com elevação dos valores de HCO_3^- e BE. Esses desequilíbrios são encontrados nos casos em que há refluxo abomasorruminal, com a movimentação de ácido clorídrico (HCl) para o rúmen e a não absorção de Cl^- e de K^+ no intestino (CONSTABLE, 1999a, 2014; CONSTABLE *et al.*, 2021). O *gamblegram* contribuiu representando a condição sistêmica geral do paciente de forma simples e sucinta. Todavia, é necessária a realização do exame de hemogasometria, o qual não está disponível a todos os profissionais. A realização de ambos diariamente permite a visualização da evolução clínica.

Neste caso, a solução indicada é a de NaCl 0,9%, por seu caráter acidificante, uma vez que seu valor

de SID_3 é de 0 mEq/L, além de fornecer Cl^- em quantidades adequadas para a reversão da hipocloremia (SMITH; BERCHTOLD, 2014). O RS possui o mesmo valor de SID_3 e é indicado nessa situação, com a vantagem de fornecer K^+ . Em casos extremos, a solução salina hipertônica a 7% pode ser utilizada para reposição de NaCl em um breve período (CONSTABLE, 1999b). Nos casos em que ocorre o restabelecimento do trânsito aboral de ingestão, a via oral pode ser utilizada para o fornecimento de grandes quantidades de eletrólitos e de água (CONSTABLE *et al.*, 2021).

CONCLUSÕES

A compreensão do *gamblegram* e da teoria de electroneutralidade facilita o entendimento das alterações da hemogasometria, trazendo uma visão complementar sobre esse exame. Clinicamente, é possível distinguir as alterações presentes e, assim, direcionar melhor as condutas terapêuticas. Variações na concentração de eletrólitos e proteínas merecem atenção especial, em função de sua repercussão no equilíbrio ácido-base. Esses fatores precisam ser levados em conta no momento da escolha da solução isotônica a ser utilizada. ●

REFERÊNCIAS

- BLUMBERG, N. *et al.* 0,9% NaCl (normal saline) – perhaps not so normal after all? *Transfusion and Apheresis Science*, [s.l.], v. 57, n. 1, p. 127-131, 2018.
- BOER, K. E.; CORLEY, K. T. T. Electrolyte disorders in horses with colic. Part 1: potassium and magnesium. *Equine Veterinary Education*, [s.l.], v. 18, n. 5, p. 266-271, 2006a.
- BOER, K. E.; CORLEY, K. T. T. Electrolyte disorders in horses with colic. Part 2: calcium, sodium, chloride and phosphate. *Equine Veterinary Education*, [s.l.], v. 18, n. 6, p. 320-332, 2006b.
- CONSTABLE, P. D. A simplified strong ion model for acid-base equilibria: application to horse plasma. *Journal of Applied Physiology*, [s.l.], v. 83, n. 1, p. 297-311, 1997.
- CONSTABLE, P. D. Clinical assessment of acid-base status: strong ion difference theory. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, [s.l.], v. 15, n. 1, p. 447-471, 1999a.
- CONSTABLE, P. D. Hypertonic saline. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, [s.l.], v. 15, n. 3, p. 559-585, 1999b.
- CONSTABLE, P. D. Calculation of variables describing plasma nonvolatile weak acids for use in the strong ion approach to acid-base balance in cattle. *American Journal of Veterinary Research*, [s.l.], v. 63, n. 4, p. 482-490, 2002.
- CONSTABLE, P. D. Hyperchloremic acidosis: the classic example of strong ion acidosis. *Anesthesia e Analgesia*, [s.l.], v. 96, n. 4, p. 919-922, 2003.
- CONSTABLE, P. D. Acid-base assessment, when and how to apply the Henderson-Hasselbalch equation and strong ion difference theory. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, [s.l.], v. 30, n. 1, p. 295-316, 2014.
- CONSTABLE, P. D. In response: letters to the editor. *Anesthesia e Analgesia*, [s.l.], v. 98, n. 1, p. 271-272, 2004.
- CONSTABLE, P. D. Total weak acid concentration and effective dissociation constant of non volatile buffers in human plasma. *Journal of Applied Physiology*, [s.l.], v. 91, n. 1, p. 1364-1371, 2001.
- CONSTABLE, P. D. *et al.* Intravenous and oral fluid therapy in neonatal calves with diarrhea or sepsis and in adult cattle. *Frontiers in Veterinary Science*, [s.l.], v. 7, n. 1, p. 1-23, 2021.
- COSENZA M. *et al.* Efeito da solução de Ringer com lactato sobre os equilíbrios hidroeletrólítico e ácido base de equinos, ovelhas e bezerros sadios. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 43, p. 2247-2253, 2013.
- DEARO, A. C. O. Fluidoterapia em grandes animais parte 1: água corpórea indicação e tipos de fluidos. *Revista de Educação Continuada do CRMV-SP*, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 3-8, 2001.
- DEARO, A. C. O.; REICHMANN, P. Fluidoterapia em grandes animais parte II: quantidade e vias de administração. *Revista de Educação Continuada do CRMV-SP*, São Paulo, v. 4, n. 3, p. 3-11, 2001.

- DIAS, D. C. R. et al. Enteral and intravenous fluid therapy in horses. *Frontiers in Veterinary Science*, [s.l.], v. 8, n. 1, p. 1-10, 2021.
- DIBARTOLA, S. P.; WILLARD, M. D. Disorders of phosphorus: hypophosphatemia and hyperphosphatemia. In: DIBARTOLA, S. P. *Fluid, electrolyte and acid base disorders in small animal practice*. 4. ed. Philadelphia: Elsevier Saunders, 2012.
- FIELDING, C. L.; MAGDESIAN, K. G. *Equine fluid therapy*. Pondicherry: Willey-Blackwell, 2014.
- GARZÓN-AUDIR, A.; LIVER-ESPINOSA, O.; CASTANEDA-SALAZAR, R. Acid base disorders in hospitalized cattle. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, São Paulo, v. 57, n. 1, p. 1-10, 2020.
- GOMEZ, D. E. et al. Acid-base disorders in sick goats and their association with mortality: a simplified strong ion difference approach. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, [s.l.], v. 33, p. 2776-2786, 2020.
- JUNQUEIRA, J. R. C. et al. Efeito alcalinizante de soluções eletrolíticas intravenosas com concentrações elevadas de lactato de sódio infundidas em bezerros saudáveis. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, Belo Horizonte, v. 67, p.15-24, 2015.
- KIRSCH, L.; SANDERSEN, C. Traditional and quantitative analysis of acid-base and electrolyte imbalances in horses competing in cross-country competitions at 2-star to 5-star level. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, [s.l.], v. 34, p. 909-921, 2020.
- LEVETOWN, M. Saline-induced hypertonic metabolic acidosis. *Critical Medical Care*, [s.l.], v. 30, n. 1, p. 259-261, 2002.
- MORGAN, T.; VENKATESH, B.; HALL, J. Crystalloid strong ion difference determines metabolic acid-base change during acute normovolaemic haemodilution. *Intensive Care Medicine*, [s.l.], v. 30, n. 1, p. 1432-1437, 2004.
- MUIR, W. Effect of intravenously administered crystalloid solutions on acid-base balance in domestic animals. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, [s.l.], v. 31, n. 5, p. 1371-1381, 2017.
- MÜLLER, K. R. et al. Importance of the effective strong ion difference of an intravenous solution in the treatment of diarrheic calves with naturally-acquired acidemia and strong ion (metabolic) acidosis. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, [s.l.], v. 26, n. 3, p. 674-683, 2012.
- PEREIRA, P. F. V. et al. Nova solução eletrolítica intravenosa para uso veterinário: efeitos sobre o perfil eletrolítico e ácido base em bovinos adultos hígidos. *Ciência Animal Brasileira*, Goiânia, v. 18, p. 1-9, 2017.
- RADOSTITS, O.M.; BLOOD, D.C.; GAY, C.C. HINCHCLIFF K.W.; CONSTABLE, P. D. *Veterinary Medicine – A textbook of the diseases of cattle, horses, sheep, pigs and goats*. 10.ed. Elsevier: St. Louis, 2009, 2156p.
- RIBEIRO FILHO, J. D. et al. Hidratação enteral em bovinos: avaliação de soluções eletrolíticas isotônicas administradas por sonda nasogástrica em fluxo contínuo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 41, n. 2, p. 285-290, 2011.
- RIBEIRO FILHO, J. D. et al. Hidratação em ruminantes adultos e neonatos: abordagem prática e objetiva. *Revista Brasileira de Buíatria*, Garanhuns, v. 1, n. 1, p. 1-27, 2021.
- ROMÃO, F. T. N. M. A. et al. Intravenous administration of a polyionic solution containing 84 mEq/L of lactate resolves experimentally induced hyperchloremic acidosis in horses. *Equine Veterinary Journal*, [s.l.], v. 49, n. 1, p. 87-93, 2017.
- SATTler, N.; FECTEAU, G. Hypokalemia syndrome in cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, [s.l.], v. 30, p. 351-357, 2014.
- SCHOSTER, A.; STÄMPFLI, H.R. The strong ion approach to acid-base – how to and why? *The ACVIM: Food Animal*, [s.l.], 2016.
- SMITH, B. P.; METRE, D. C.; PUSTRELA, N. *Large animal internal medicine*. 6. ed. St. Louis: Elsevier, 2019.
- SMITH, G. W.; BERCHTOLD, J. Fluid therapy in calves. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, [s.l.], v. 30, p. 409-427, 2014.
- STÄMPFLI, H. R. Role of electrolytes in acid-base: theory and practicality. *The ACVIM: Food Animal*, [s.l.], 2005.
- STÄMPFLI, H. R.; GARY, P.; CARLSON, G.P. How to use the routine serum biochemical profile to understand and interpret acid-base disorders in the horse. *Convention of the American Association of Equine Practitioners*, [s.l.], v. 47, p. 257-261, 2001.
- STÄMPFLI, H. R.; SCHOSTER, A.; CONSTABLE, P.D. Clinical utility of serum biochemical variables for predicting acid-base balance in critically ill horses. *Veterinary Clinical Pathology*, [s.l.], v. 44, p. 547-556, 2014.
- STEWART, P. A. Independent and dependent variables of acid-base control. *Respiration Physiology*, [s.l.], v. 33, p. 9-26, 1978.
- STEWART, P. A. *How to understand acid-base*. London: Elsevier, 1981.

AUTORES

FABRÍCIO MOREIRA CERRI

Médico-veterinário
CRMV-SP nº 48552
Residente na Clínica de Grandes Animais (FMVZ/Unesp)
cerrifabricio@gmail.com

CRISTIANA RAACH BROMBERG

Médica-veterinária
CRMV-SP nº 42548
Residente na Clínica de Grandes Animais (FMVZ/Unesp)

ROGÉRIO MARTINS AMORIM

Médico-veterinário
CRMV-SP nº 6757
Professor doutor no Departamento de Clínica Veterinária (FMVZ/Unesp)

ALEXANDRE SECORUN BORGES

Médico-veterinário
CRMV-SP nº 6564
Professor doutor no Departamento de Clínica Veterinária (FMVZ/Unesp)

JOÃO PEDRO MARMOL DE OLIVEIRA

Médico-veterinário
CRMV-SP nº 44770
Residente na Clínica de Grandes Animais (FMVZ/Unesp)

JÚLIO AUGUSTO NAYLOR LISBÔA

Médico-veterinário
CRMV-PR nº 4715
Professor doutor no Departamento de Clínicas Veterinárias (UEL)

JOSÉ PAES DE OLIVEIRA FILHO

Médico-veterinário
CRMV-SP nº 15116
Professor doutor no Departamento de Clínica Veterinária (FMVZ/Unesp)