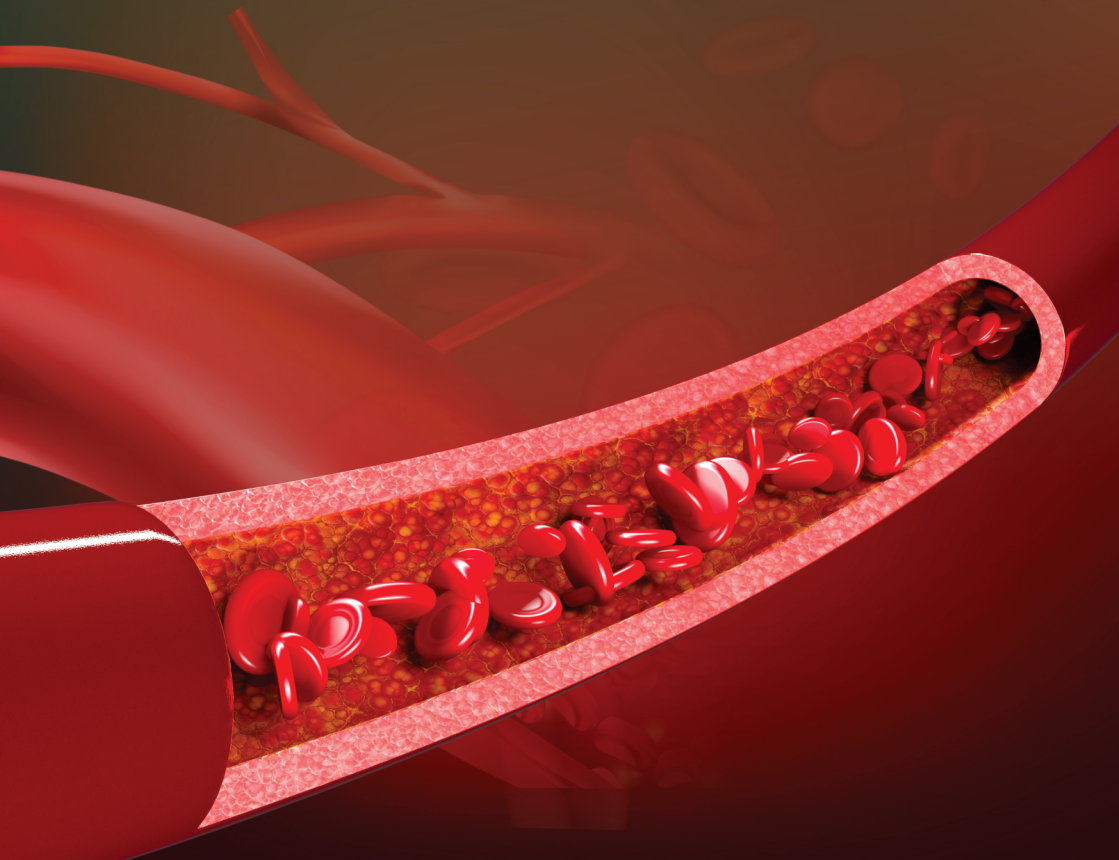


HEMO GASOMETRIA



HEMOGASOMETRIA: Por que solicitar?

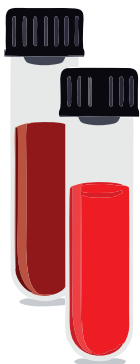
Para auxiliar no tratamento do paciente com suspeita de distúrbios que alteram o equilíbrio ácido-base orgânico. O exame é capaz de fornecer informações sobre a origem e severidade do distúrbio presente e conseqüentemente direcionar o tratamento adequado. Chamamos esses distúrbios de acidose ou alcalose, pois tendem a alterar o pH sanguíneo além dos limites fisiológicos normais, seja para baixo (mais ácido) ou para cima (mais alcalino).

A alteração no pH sanguíneo deve ser chamada de acidemia ou alcalemia, sendo essas causadas por um ou mais distúrbios ácido-base.

! Mas Atenção! Em algumas situações, mesmo na presença de distúrbio ácido-base, o pH pode estar dentro dos limites normais fisiológicos.

Para avaliação do equilíbrio ácido-base neste material, vamos utilizar os conceitos da metodologia tradicional, sustentada pelos estudos dos professores Henderson e Hasselbalch.

SANGUE ARTERIAL x SANGUE VENOSO



O sangue arterial é a amostra ideal para uma avaliação completa, sendo indispensável nos pacientes com distúrbios respiratórios e para acompanhamento anestésico, onde precisamos avaliar a eficiência das trocas gasosas e oxigenação sanguínea através dos níveis de PaO₂ e SaO₂. Nos distúrbios metabólicos, a gasometria venosa pode ser utilizada de forma satisfatória, através da avaliação do pH e dos níveis de HCO₃ e da PCO₂, juntamente com o Ânion-gap. Os valores de referência devem ser específicos para o tipo de amostra (arterial ou venosa). Neste material os parâmetros serão referenciados considerando amostras de sangue arterial.

QUAIS OS SISTEMAS A GASOMETRIA NOS PERMITE AVALIAR ?

Respiratório



Renal



Gastrointestinal



QUAIS OS PROCESSOS QUE DEVEM SER AVALIADOS PARA COMPREENSÃO DOS DISTÚRBIOS?

- Ventilação
- Oxigenação
- Equilíbrio ácido-base

Para entender o conceito de ventilação é preciso primeiro saber a diferença entre:

- **VOLUME CORRENTE**
- **VOLUME DO ESPAÇO MORTO FISIOLÓGICO**
- **VOLUME ALVEOLAR**

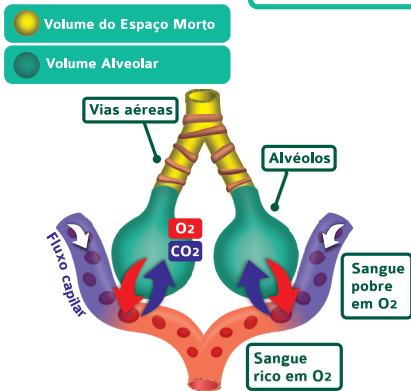
VOLUME CORRENTE é volume de ar que entra e sai dos pulmões em cada movimento respiratório normal. Uma parte deste volume, denominado **VOLUME DO ESPAÇO MORTO FISIOLÓGICO**, está nas vias aéreas condutoras (Espaço Morto Anatômico) e nos alvéolos que não são capazes de realizar trocas gasosas (Espaço Morto Alveolar).

A outra parte deste volume chama-se **VOLUME ALVEOLAR**, compreendendo os alvéolos funcionais, responsáveis pela captação de O₂ e eliminação de CO₂ da circulação.

O conceito de Ventilação é o volume de ar por minuto que é movimentado em cada um destes compartimentos:

- **Ventilação Total (VE)** = Volume Corrente x Frequência Respiratória
- **Ventilação do Espaço Morto (VD)** = Volume do Espaço Morto Fisiológico x Frequência Respiratória
- **Ventilação Alveolar (VA)** = Volume Alveolar x Frequência Respiratória

Podemos dizer também que $VE = VD + VA$



A ventilação alveolar é responsável pela eliminação do CO₂, ou seja, aumentando a ventilação aumentamos a eliminação do CO₂, e consequentemente, diminuimos a quantidade de CO₂ no sangue. O contrário também é verdadeiro.

Gasometria	Condição Sanguínea	Condição Pulmonar
↑ PaCO ₂	Hipercapnia	Hipoventilação
↓ PaCO ₂	Hipocapnia	Hiperventilação

Atenção: Hiperventilação e Hipoventilação não significam aumento ou diminuição da frequência respiratória!

De acordo com a equação da ventilação alveolar, a pressão arterial de CO₂ (PaCO₂) varia inversamente com a Ventilação Alveolar (VA) e diretamente com a produção de CO₂ (VCO₂).

Pressão Arterial de CO₂ x Ventilação Alveolar

$$PaCO_2 = \frac{0,863 \times VCO_2}{VA}$$

OXIGENAÇÃO

Parâmetros Avaliados

PaCO₂ | PaO₂ | SaO₂

A avaliação da oxigenação pode ser dividida em duas etapas:



- Capacidade do organismo em realizar as trocas gasosas;
- Capacidade de transporte do oxigênio para os tecidos.

AVALIAÇÃO DAS TROCAS GASOSAS:

01

Avaliar a PaO₂, caso esteja diminuída, existe hipoxemia (PaO₂ < 80 mm/Hg)

02

Determinar a causa da hipoxemia: insuficiência respiratória hipoxêmica ou hipoventilatória.

Insuficiência Respiratória Tipo I (Hipoxêmica)

Hipoxemia por insuficiência nas trocas gasosas, causada geralmente por doença pulmonar.

Ocorre em situações de desequilíbrio da relação V/Q (ventilação/perfusão alveolar) ou quando existe comprometimento da perfusão através da membrana alvéolo-capilar.

Pode desencadear Insuficiência Respiratória tipo II por fadiga da musculatura respiratória.

Insuficiência Respiratória Tipo II (Hipoventilatória)

Insuficiência ventilatória causada por disfunções que comprometem a ventilação alveolar, levando à hipercapnia (aumento da PaCO₂)

Ocorre, por exemplo, em distúrbios do SNC, doenças neuromusculares, efusão pleural, pneumotórax...

Desencadeia Insuficiência Respiratória Tipo I secundária pois tem como consequência a diminuição da quantidade de oxigênio alveolar e hipoxemia.

Existem algumas fórmulas que ajudam a determinar se existe comprometimento das trocas gasosas e também auxiliam na diferenciação entre insuficiência hipoxêmica e hipoventilatória. A primeira é a **DIFERENÇA ALVÉOLO-ARTERIAL DE OXIGÊNIO**. Quando está elevada indica desequilíbrio da relação ventilação/perfusão alveolar ou comprometimento da barreira alvéolo-capilar. Em pacientes saudáveis deve ser menor que 15 a 25. Para o cálculo, primeiro é necessário calcular a **PRESSÃO ALVEOLAR DE OXIGÊNIO**.

Pressão Alveolar de Oxigênio x Pressão Arterial de CO₂

$$PAO_2 = FiO_2 \times (P_B - 50) - PaCO_2 \times 0,8$$

Fração Inspirada de O₂ Pressão Barométrica Pressão Vapor H₂O Quociente Respiratório

OBSERVAÇÕES: A fração inspirada de O₂ no caso do ar atmosférico é 0,21. Se o paciente estiver com suplementação de O₂, registrar de acordo com a suplementação fornecida. A Pressão Barométrica deve ser verificada de acordo com a altitude do município. Ao nível do mar é equivalente à 760 mmHg.

Diferença Alvéolo-Arterial

$$P(A-a)O_2 = PAO_2 - PaO_2$$

#Dica: Na insuficiência hipoventilatória, a $P(A-a)O_2$ se mantém dentro da normalidade, pois a membrana alvéolo-capilar está saudável.



Índice

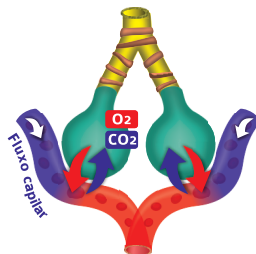
$$\frac{PaO_2}{FiO_2}$$

Outra fórmula bastante utilizada é o índice PaO_2/FiO_2 , que demonstra de forma prática se a PaO_2 é adequada em relação à fração inspirada de oxigênio (FiO_2). Em condições normais, esse índice é acima de 400 (Ex: PaO_2 de 100mmHg dividido por fração de O_2 de 0,21 resulta em índice de 476). Se o resultado for abaixo de 300, indica troca gasosa inadequada, fazendo com que o oxigênio inspirado não alcance de forma adequada a circulação. Valores abaixo de 200 refletem angústia respiratória.

Atenção: Cuidado ao avaliar o índice PaO_2/FiO_2 em um paciente com hipoxemia causada por hipoventilação. Nesta situação não podemos afirmar que o índice alterado (diminuído) é consequência de desequilíbrio da relação V/Q ou da perfusão através da membrana alvéolo-capilar, pois a fórmula não leva em consideração a $PaCO_2$. Portanto, em pacientes com hipercapnia, a $P(A-a)O_2$ é mais indicada para avaliar a eficiência pulmonar para realizar trocas gasosas.

COMPREENSÃO DA RELAÇÃO VENTILAÇÃO/PERFUSÃO (V/Q):

Oxigenação normal



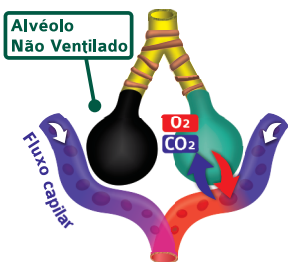
PaO₂ normal

Oxigenação Reduzida

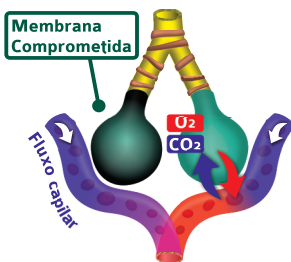
Alvéolo não ventilado:
Efeito Shunt

Baixa difusão gasosa:
Membrana alvéolo-capilar comprometida

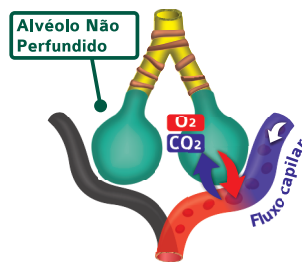
Alvéolo não perfundido:
Efeito Espaço Morto Alveolar



PaO₂ reduzida



PaO₂ reduzida

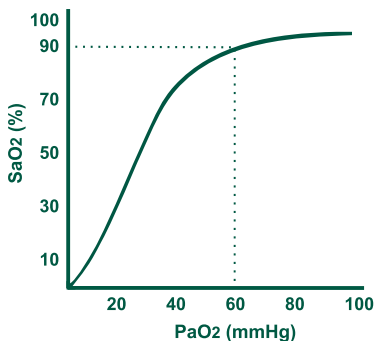


PaO₂ reduzida

- a) Alvéolo não ventilado (efeito Shunt): PaO₂ diminuída com baixa relação ventilação/perfusão (V/Q). O comprometimento da oxigenação sanguínea ocorre como consequência da incapacidade do ar em alcançar os alvéolos. Podemos citar alguns exemplos como atelectasia, DPOC, enfisema. A suplementação com O₂ se torna cada vez mais refratária à medida que o índice V/Q diminui.
- b) Comprometimento da barreira alvéolo-capilar: PaO₂ diminuída como consequência da redução da capacidade do O₂ para atravessar a barreira entre o alvéolo e o capilar. Ocorre em doenças que causam espessamento (edema) e/ou fibrose desta barreira.
- c) Alvéolo não perfundido (efeito Espaço Morto Alveolar): PaO₂ diminuída com relação V/Q aumentada. Neste caso o comprometimento da oxigenação ocorre pela ausência ou diminuição de fluxo sanguíneo nos capilares alveolares, como por exemplo, tromboembolia pulmonar.

TRANSPORTE

O fato de ocorrer troca gasosa adequada não garante que o oxigênio chegará à periferia. Para isso ocorrer, as moléculas de hemoglobina presentes nas hemácias devem ser capazes de capturar o oxigênio e manter uma saturação adequada (SaO₂ e SpO₂).



A saturação arterial de oxigênio (SaO₂) é o percentual de sítios de ligação da hemoglobina ocupados com O₂. Está diretamente relacionada à PaO₂, podendo ser demonstrada graficamente pela curva de dissociação da hemoglobina.

Além da medição da saturação arterial (SaO₂) ou periférica (SpO₂), outro parâmetro que pode ser avaliado para saber se o transporte está ocorrendo de forma adequada, é o conteúdo arterial de oxigênio (CaO₂), que nada mais é que a soma do oxigênio ligado à hemoglobina com o oxigênio dissolvido no plasma, e é mensurado pela fórmula:

#Dica prática: Regra

40/50/60 (PaO₂)

↓ ↓ ↓
70/80/90 (SaO₂)



Conteúdo Arterial de Oxigênio

$$CaO_2 = \underbrace{(Hb \times 1,34 \times SaO_2)}_{\text{Oxigênio ligado à hemoglobina}} + \underbrace{(PaO_2 \times 0,003)}_{\text{Oxigênio dissolvido no plasma}}$$

Importante observar que pacientes anêmicos podem apresentar PaO₂ normal mas comprometimento significativo da disponibilidade total de oxigênio na circulação (CaO₂ reduzido). Outro ponto é a influência significativamente maior da Hemoglobina e SaO₂ em relação à PaO₂ na disponibilidade total do oxigênio.

O mecanismo de compensação respiratório responde de forma imediata, enquanto o esforço compensatório metabólico possui uma resposta mais lenta, podendo demorar até 2 a 3 dias para atingir sua eficiência máxima.

ÂNION-GAP

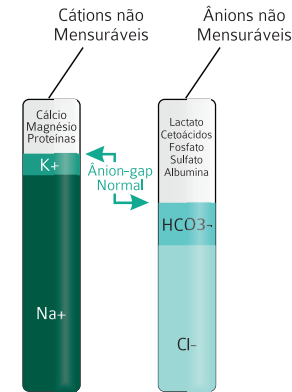
Calculado para ajudar a determinar a causa do distúrbio ácido-base de origem metabólica. Parte do princípio da eletroneutralidade, onde as cargas positivas (cátions) e negativas (ânions) devem ser iguais. É a diferença entre a soma dos cátions mensurados (Na e K) e a soma dos ânions mensurados (HCO₃ e Cl).

$$\text{Ânion-gap} = (\text{Na}^+ + \text{K}^+) - (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$$

Ânions não mensuráveis (albumina, lactato, corpos cetônicos, fosfato, sulfato), quando estão aumentados, tendem a aumentar o ânion-gap, pois geram consumo do bicarbonato, fazendo sua concentração reduzir para manter a eletroneutralidade. Portanto, as acidoses metabólicas com ânion gap aumentado geralmente são decorrentes de aumento de ácidos patológicos (acidose lática / cetoacidose) ou acúmulo de outros ânions não mensurados, como o fosfato e a albumina.

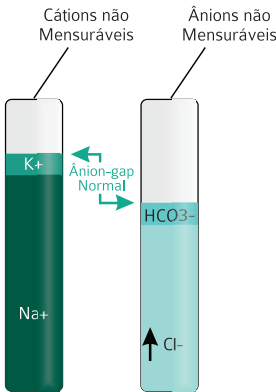
Acidoses metabólicas sem alteração do ânion-gap ocorrem geralmente por perda direta de bicarbonato ou diminuição em resposta à hipercloremia. Também pode ser resultado da diminuição da excreção de H⁺.

Equilíbrio Ácido-Base Normal



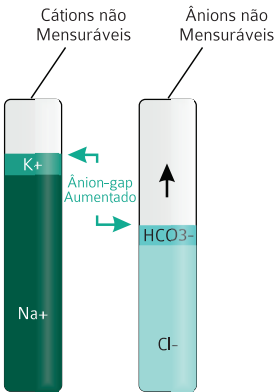
$$\text{Cátions} = \text{Ânions}$$

Exemplo 1 Acidose Metabólica com Ânion-gap Normal



Nesta situação a diminuição do bicarbonato está associada ao aumento do Cloro. Não ocorre aumento de ânions não mensuráveis e isto faz com que o ânion-gap se mantenha normal.

Exemplo 2 Acidose Metabólica com Ânion-gap Aumentado



Nesta situação a diminuição do bicarbonato está associada ao aumento de ânions não mensurados. Isto faz com que o ânion-gap aumente.

Em casos de hipoalbuminemia o ideal é corrigir o ânion-gap pela fórmula:

$$\text{Ânion-gap ajustado (cães)} = \text{Ânion-gap} + 4,2 \times (3,77 - [\text{Albumina}])$$

BASE EXCESS (BE) ou EXCESSO DE BASE (EB)

É um parâmetro calculado da gasometria, expresso em mEq/L, que ajuda na interpretação da severidade do desequilíbrio metabólico e no cálculo da reposição de bicarbonato, quando se aplica. Significa que existe excesso de bicarbonato (base) quando o resultado está acima do valor de referência. Quando seu resultado está abaixo da referência, significa que existe déficit de base (DB).

$$\text{Reposição de Bicarbonato de Sódio (mEq)} = \text{D.B.} \times 0,3 \times \text{Peso (Kg)}$$

EXEMPLOS DE DISTÚRBIOS ACIDOBÁSICOS

Possibilidades de ACIDOSE METABÓLICA com ÂNION-GAP NORMAL

Causas Possíveis	Significado Clínico
Perda de Bicarbonato	Diarreia Acidose Tubular Renal tipo 2
Hiperclorêmia	Administração excessiva de Solução Fisiológica (NaCl 0,9%)
Redução na excreção renal de ions H^+	* Insuficiência Renal (depende do estágio) Acidose Tubular Renal tipo 1 Acidose Tubular Renal tipo 4

* IR em estágio mais avançado, com hiperfosfatemia, desencadeia aumento do ânion-gap.

Possibilidades de ACIDOSE METABÓLICA com ÂNION-GAP ELEVADO

Causas Possíveis	Significado Clínico
Aumento de Corpos Cetônicos	Cetoacidose Diabética, Jejum prolongado
Aumento de Lactato	Choque, Hipóxia Tecidual, Hipovolemia
Intoxicação com Ácido glicólico / glioxílico / oxálico	Ingestão de Etilenoglicol
Hiperfosfatemia	Insuficiência Renal

Possibilidades de ALCALOSE METABÓLICA

Causas Possíveis	Significado Clínico
Aumento de HCO_3^-	Administração excessiva de HCO_3^-
Perda de K^+	Diurético: resposta compensatória à perda de K^+ desloca K^+ intracelular para a corrente sanguínea e consequentemente H^+ para o meio intracelular
Pós Hipercapnia	Resposta compensatória aumenta HCO_3^- para compensar a acidose respiratória
Perda de Cl^-	Vômito

PASSO A PASSO PARA A INTERPRETAÇÃO DA GASOMETRIA

Passo 1

Avaliar o pH

Se o pH estiver diminuído teremos uma **ACIDEMIA**

Se o pH estiver aumentado teremos uma **ALCALEMIA**

Passo 2

Avaliar a PaCO₂

O valor da PaCO₂ explica a alteração do pH?

Se resposta for **SIM**, teremos um distúrbio (Acidose ou Alcalose) **RESPIRATÓRIO**

Se a resposta for **NÃO**, teremos um distúrbio (Acidose ou Alcalose) **METABÓLICO**. Neste caso é o valor do HCO₃ que explica a alteração do pH

Passo 3

Avaliar a Resposta Compensatória

A resposta compensatória esperada (calculada) é próxima da resposta compensatória medida?

Se resposta for **SIM**, teremos um distúrbio **COMPENSADO** conforme previsto

Se a resposta for **NÃO**, teremos um distúrbio **NÃO COMPENSADO** como previsto devido à um segundo distúrbio presente (distúrbio misto)

Passo 4

Avaliar o Ânion-Gap

O cálculo do Ânion-Gap está Aumentado?

Se resposta for **SIM**, teremos provavelmente uma acidose metabólica com excesso de ânions não mensuráveis (lactato, corpos cetônicos, fosfato, albumina)

Se a resposta for **NÃO**, teremos provavelmente uma acidose metabólica com aumento nos níveis de Cloro e redução de Bicarbonato

Com Acidose Metabólica

Se resposta for **SIM**, pode ser decorrente de hiperfosfatemia, paraproteinemia aniônica ou alcalose metabólica

Se resposta for **NÃO**, está **DIMINUÍDO**, pode ser decorrente de aumento de Ca ou Mg, paraproteinemia catiônica, ingestão de brometo ou intoxicação por lítio

Sem Acidose Metabólica

* Avaliado somente na presença de Distúrbios Metabólicos, geralmente para compreender a origem de uma acidose metabólica

* O Passo 4 mostra apenas as possibilidades mais comuns para interpretação do ânion-gap, porém diversas outras alterações não demonstradas aqui podem ocorrer

* Nas situações onde temos alteração dos níveis sanguíneos de albumina, o ideal é fazer o cálculo ajustado do ânion-gap, pois a Hipalbuminemia diminui o gap.

* O Passo a passo mostra interpretação de até dois distúrbios primários, mas ainda pode existir um terceiro distúrbio concomitante, que pode ser identificado com a ajuda do índice "Delta Ratio".

Valores de Referência

Parâmetro	Caninos	Felinos	
Arterial	pH	7,351 a 7,463 (7,407)	7,310 a 7,462 (7,386)
	PaCO ₂ (mmHg)	30,8 a 42,8 (36,8)	25,2 a 36,8 (31,0)
	PaO ₂ (mmHg)	80,9 a 103,3 (92,1)	95,4 a 118,2 (106,8)
	HCO ₃ ⁻ (mEq/L)	18,8 a 25,6 (22,2)	14,4 a 21,6 (18,0)
	B.E. (mEq/L)	-0,2 a +3,4 (-1,8)	-10,8 a -1,2 (-6,0)
Venoso	pH	7,351 a 7,443 (7,397)	7,227 a 7,409 (7,343)
	PvCO ₂ (mmHg)	33,6 a 41,2 (37,4)	32,7 a 44,7 (38,7)
	HCO ₃ ⁻ (mEq/L)	20,8 a 24,2 (22,5)	18,0 a 23,2 (20,6)
	B.E. (mEq/L)	-2,3 a -0,1 (-1,2)	-9,2 a -0,8 (-5,0)
	Na ⁺ (mEq/L)	140 a 155 (146)	149 a 162 (156)
Cl ⁻ (mEq/L)	107 a 113 (110)	117 a 123 (120)	
K ⁺ (mEq/L)	3,5 a 5,5 (4,5)	3,6 a 4,9 (4,3)	
Ânion- gap	12 a 25	17 a 31	

Fonte: DiBartola SP. Metabolic acid-base disorders. In: DiBartola SP, editor. Fluid, electrolyte, and acid-base disorders, 4th edition. St Louis (MO): Elsevier; 2012. p. 47, 83, 84, 100, 196, 242, 255.

Erros cometidos

Demora entre a coleta e a análise

Presença de ar na amostra

Uso de heparina sódica como anticoagulante

Temperatura do paciente no momento da coleta

Fisiologia

Como o metabolismo das células presentes na amostra continua acontecendo, elas continuam consumindo O₂ e Glicose, e gerando CO₂ e lactato. Se a amostra não for analisada imediatamente deve ser mantida em gelo.

Como o ar ambiente possui mais O₂ e menos CO₂ que o sangue, altera as concentrações da amostra

Pode interferir na análise do Na. Por ser líquida, irá causar efeito de diluição na amostra, principalmente se o volume coletado for pequeno. Recomenda-se heparina lítica (lifofiltrada).

Hipertermia aumenta a produção de CO₂, e consequentemente o pH diminui. Alguns equipamentos são capazes de corrigir a leitura do pH de acordo com a temperatura informada

Reflexos na Análise

↓ PaO₂, ↓ Glicose, ↓ pH
↑ PaCO₂, ↑ Lactato

↓ PaCO₂
↑ PaO₂, ↑ pH

↓ PaO₂, ↓ PaCO₂
↑ Na

↑ PaCO₂
↓ PaO₂, ↓ pH

Siglas

Parâmetro	Nome	Origem
pH	pH	Gasometria - parâmetro medido
PaCO ₂	Pressão arterial de dióxido de carbono	Gasometria - parâmetro medido
PaO ₂	Pressão arterial de oxigênio	Gasometria - parâmetro medido
HCO ₃ ⁻	Bicarbonato	Gasometria - parâmetro calculado
B.E.	Base excess / Excesso de base	Gasometria - parâmetro calculado
SaO ₂	Saturação arterial de oxigênio	Gasometria - parâmetro calculado
SpO ₂	Saturação periférica de oxigênio	Oximetria
CaO ₂	Conteúdo arterial de oxigênio	Fórmula
PvCO ₂	Pressão venosa de dióxido de carbono	Gasometria - parâmetro medido
PAO ₂	Pressão alveolar de oxigênio	Fórmula
VA	Ventilação alveolar	Fórmula
VCO ₂	Produção de dióxido de carbono	Capnometria
FiO ₂	Fração inspirada de oxigênio	0,21 (ar ambiente) ou verificar suplementação
Ânion- gap	Ânion- gap	Fórmula
P(A - a)O ₂	Diferença alvéolo arterial de oxigênio	Fórmula



VETEX

LABORATÓRIO VETERINÁRIO



vetex.vet.br