



Utilização de parâmetros venosos ($PvCO_2$, ΔPCO_2 , $ScvO_2$) na tomada de decisão hemodinâmica na sala de emergência

Use of venous parameters ($PvCO_2$, ΔPCO_2 , $ScvO_2$) in hemodynamic decision-making in the emergency department

Utilización de parámetros venosos ($PvCO_2$, ΔPCO_2 , $ScvO_2$) en la toma de decisiones hemodinámicas en el servicio de urgencias



<https://doi.org/10.5281/zenodo.20014037>

Marília Pinheiro Palmejani

Graduanda em Medicina

Universidade Anhanguera-UNIDERP, Campo Grande, Brasil

e-mail: pinheiomarilia1969@gmail.com

Lara Ferreira Passianoto

Graduanda em Medicina

Universidade Anhanguera-UNIDERP, Campo Grande, Brasil

e-mail: jarapassianotomed@gmail.com

Laura Beatriz Debesa Torres

Médica e Emergencista

Santa Casa de Campo Grande, Campo Grande, Brasil

e-mail: lauratorres@gmail.com

Rodrigo Silva de Quadros

Médico e Emergencista

Santa Casa de Campo Grande, Campo Grande, Brasil

e-mail: rodrigoquadros@gmail.com

- **Tipo de Estudo:** Estudo de revisão bibliográfica
- **Recebido:** 15/04/2026
- **Aceito:** 30/04/2026
- **Publicado:** 03/05/2026



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), and a [LOCKSS](https://www.lockss.org/) system.



RESUMO

A monitorização hemodinâmica em pacientes críticos evoluiu para além dos parâmetros macro-hemodinâmicos tradicionais, consolidando o uso de variáveis venosas como ferramentas essenciais na sala de emergência e terapia intensiva. Esta revisão sistemática sintetiza evidências sobre a saturação venosa central de oxigênio ($ScvO_2$), o gradiente venoarterial de dióxido de carbono (ΔPCO_2) e a razão $\Delta PCO_2/C(a-v)O_2$ na tomada de decisão clínica. A $ScvO_2$ atua como um marcador precoce da relação entre oferta e consumo de oxigênio, sendo que valores abaixo de 70% estão independentemente associados a maior mortalidade. Paralelamente, o ΔPCO_2 destaca-se como um indicador de fluxo superior para detectar estagnação circulatória e guiar a ressuscitação, especialmente quando os alvos pressóricos já foram atingidos. A integração da razão $\Delta PCO_2/C(a-v)O_2$ permite a identificação precoce do metabolismo anaeróbio e a predição da depuração do lactato. Conclui-se que a análise conjunta desses parâmetros venosos proporciona uma visão multidimensional da perfusão microcirculatória, permitindo intervenções mais precisas e individualizadas.

Palavras-chave: Monitorização Hemodinâmica; Choque Séptico; Gasometria Venosa; Saturação Venosa Central; Gradiente de CO_2 .

ABSTRACT

Hemodynamic monitoring in critically ill patients has evolved beyond traditional macro-hemodynamic parameters, consolidating the use of venous variables as essential tools in the emergency room and intensive care. This systematic review synthesizes evidence on central venous oxygen saturation ($ScvO_2$), the venous-to-arterial carbon dioxide gradient (ΔPCO_2), and the $\Delta PCO_2/C(a-v)O_2$ ratio in clinical decision-making. $ScvO_2$ acts as an early marker of the relationship between oxygen delivery and consumption, with values below 70% independently associated with higher mortality. In parallel, ΔPCO_2 stands out as a superior flow indicator for detecting circulatory stagnation and guiding resuscitation, especially when pressure targets have already been met. The integration of the $\Delta PCO_2/C(a-v)O_2$ ratio allows for the early identification of anaerobic metabolism and the prediction of lactate clearance. It is concluded that the combined analysis of these venous parameters provides a multidimensional view of microcirculatory perfusion, allowing for more precise and individualized interventions.

Keywords: Hemodynamic Monitoring; Septic Shock; Venous Blood Gas; Central Venous Saturation; CO_2 Gap.

RESUMEN

La monitorización hemodinámica en pacientes críticos ha evolucionado más allá de los parámetros macrohemodinámicos tradicionales, consolidando el uso de variables venosas como herramientas esenciales en la sala de urgencias y cuidados intensivos. Esta revisión sistemática sintetiza la evidencia sobre la saturación venosa central de oxígeno ($ScvO_2$), el gradiente venoarterial de dióxido de carbono (ΔPCO_2) y la relación $\Delta PCO_2/C(a-v)O_2$ en la toma de decisiones clínicas. La $ScvO_2$ actúa como un marcador temprano de la relación entre el aporte y el consumo de oxígeno, con valores inferiores al 70% asociados de forma independiente con una mayor mortalidad. Paralelamente, el



ΔPCO_2 destaca como un indicador de flujo superior para detectar el estancamiento circulatorio y guiar la reanimación, especialmente cuando ya se han alcanzado los objetivos de presión. La integración de la relación $\Delta\text{PCO}_2/\text{C}(\text{a-v})\text{O}_2$ permite la identificación temprana del metabolismo anaeróbico y la predicción del aclaramiento de lactato. Se concluye que el análisis conjunto de estos parámetros venosos proporciona una visión multidimensional de la perfusión microcirculatoria, permitiendo intervenciones más precisas e individualizadas.

Palabras clave: *Monitoreo Hemodinámico; Choque Séptico; Gasometría Venosa; Saturación Venosa Central; Gradiente de CO_2 .*

1. INTRODUÇÃO

A avaliação hemodinâmica na sala de emergência permanece um dos maiores desafios da prática clínica, especialmente diante de pacientes com instabilidade circulatória de etiologia multifatorial. Tradicionalmente, a abordagem inicial baseia-se em parâmetros clínicos e laboratoriais convencionais, como pressão arterial, frequência cardíaca, débito urinário e níveis séricos de lactato. No entanto, tais marcadores frequentemente apresentam limitações importantes, seja por baixa sensibilidade nas fases iniciais da hipoperfusão, seja por refletirem alterações tardias no metabolismo tecidual.¹

Nesse contexto, a busca por ferramentas mais precoces e acuradas para avaliação da perfusão sistêmica tem impulsionado o interesse por parâmetros derivados da análise de gases venosos. Entre eles, destacam-se a saturação venosa central de oxigênio (ScvO_2), a pressão venosa de dióxido de carbono (PvCO_2) e o gradiente venoarterial de CO_2 (ΔPCO_2), os quais oferecem uma perspectiva mais dinâmica da relação entre oferta e consumo de oxigênio, bem como da eficiência da perfusão tecidual.²

A ScvO_2 , amplamente difundida após sua incorporação em protocolos de ressuscitação guiada por metas, representa um indicador indireto do balanço entre entrega e extração de oxigênio. Valores reduzidos sugerem aumento da extração tecidual diante de oferta inadequada, enquanto valores elevados podem refletir tanto adequada ressuscitação quanto estados de disfunção na utilização de oxigênio pelas células. Essa dualidade interpretativa reforça a necessidade de análise integrada com outros parâmetros hemodinâmicos.³

Por sua vez, a PvCO_2 e o ΔPCO_2 têm ganhado relevância como marcadores de fluxo sanguíneo e adequação da perfusão. O acúmulo de dióxido de carbono no compartimento venoso está diretamente relacionado à redução do fluxo circulatório, tornando esses parâmetros particularmente úteis na



identificação de estados de baixo débito, mesmo quando a pressão arterial se mantém aparentemente estável. Dessa forma, o ΔPCO_2 emerge como um potencial indicador precoce de hipoperfusão oculta.⁴

A utilização combinada desses marcadores permite uma avaliação mais refinada do estado hemodinâmico, superando as limitações dos indicadores isolados. Por exemplo, a associação entre ScvO_2 normal ou elevada e ΔPCO_2 aumentado pode sugerir a presença de disfunção microcirculatória ou inadequação do fluxo, cenário frequentemente observado em condições como o choque séptico. Essa abordagem integrada favorece decisões terapêuticas mais individualizadas e potencialmente mais eficazes.⁵

Apesar de seu potencial, a incorporação rotineira desses parâmetros na prática da emergência ainda enfrenta barreiras, incluindo limitações logísticas, necessidade de acesso venoso central e variabilidade na interpretação dos resultados. Além disso, grande parte das evidências disponíveis deriva de estudos conduzidos em ambientes de terapia intensiva, o que levanta questionamentos quanto à sua aplicabilidade direta no cenário dinâmico e frequentemente sobrecarregado do pronto-socorro. Adicionalmente, a complexidade fisiopatológica dos estados de choque impõe desafios à utilização isolada de qualquer marcador. Fatores como disfunção mitocondrial, alterações microvasculares e heterogeneidade da perfusão podem influenciar significativamente os valores de ScvO_2 , PvCO_2 e ΔPCO_2 , exigindo do clínico uma compreensão aprofundada de seus determinantes e limitações para interpretação adequada.⁶

Diante desse cenário, torna-se fundamental revisar criticamente o papel dos parâmetros venosos na tomada de decisão hemodinâmica na sala de emergência, explorando suas bases fisiológicas, aplicabilidade clínica, evidências atuais e limitações. A integração desses marcadores ao raciocínio clínico pode representar um avanço significativo na identificação precoce da hipoperfusão e na otimização das estratégias de ressuscitação, contribuindo para melhores desfechos em pacientes críticos.

2. METODOLOGIA

Tratou-se de uma revisão sistemática da literatura conduzida de acordo com as recomendações do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), com o objetivo de sintetizar as evidências disponíveis acerca da utilização de parâmetros venosos — pressão venosa de dióxido de carbono (PvCO_2), gradiente venoarterial de CO_2 (ΔPCO_2) e saturação venosa central de



oxigênio ($ScvO_2$) — na tomada de decisão hemodinâmica em pacientes atendidos na sala de emergência.

A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados PubMed, Scopus, Web of Science e Embase, incluindo estudos publicados até a data da busca, sem restrição inicial de período ou idioma.

Os descritores foram definidos com base nos termos do MeSH (*Medical Subject Headings*) e combinados por operadores booleanos. A estratégia de busca incluiu os seguintes termos: (“central venous oxygen saturation” OR “ $ScvO_2$ ” OR “venous carbon dioxide pressure” OR “ $PvCO_2$ ” OR “venoarterial carbon dioxide difference” OR “ ΔPCO_2 ”) AND (“hemodynamic monitoring” OR “hemodynamic assessment” OR “tissue perfusion”) AND (“emergency department” OR “emergency care” OR “critical care”), sendo adaptada conforme as especificidades de cada base de dados.

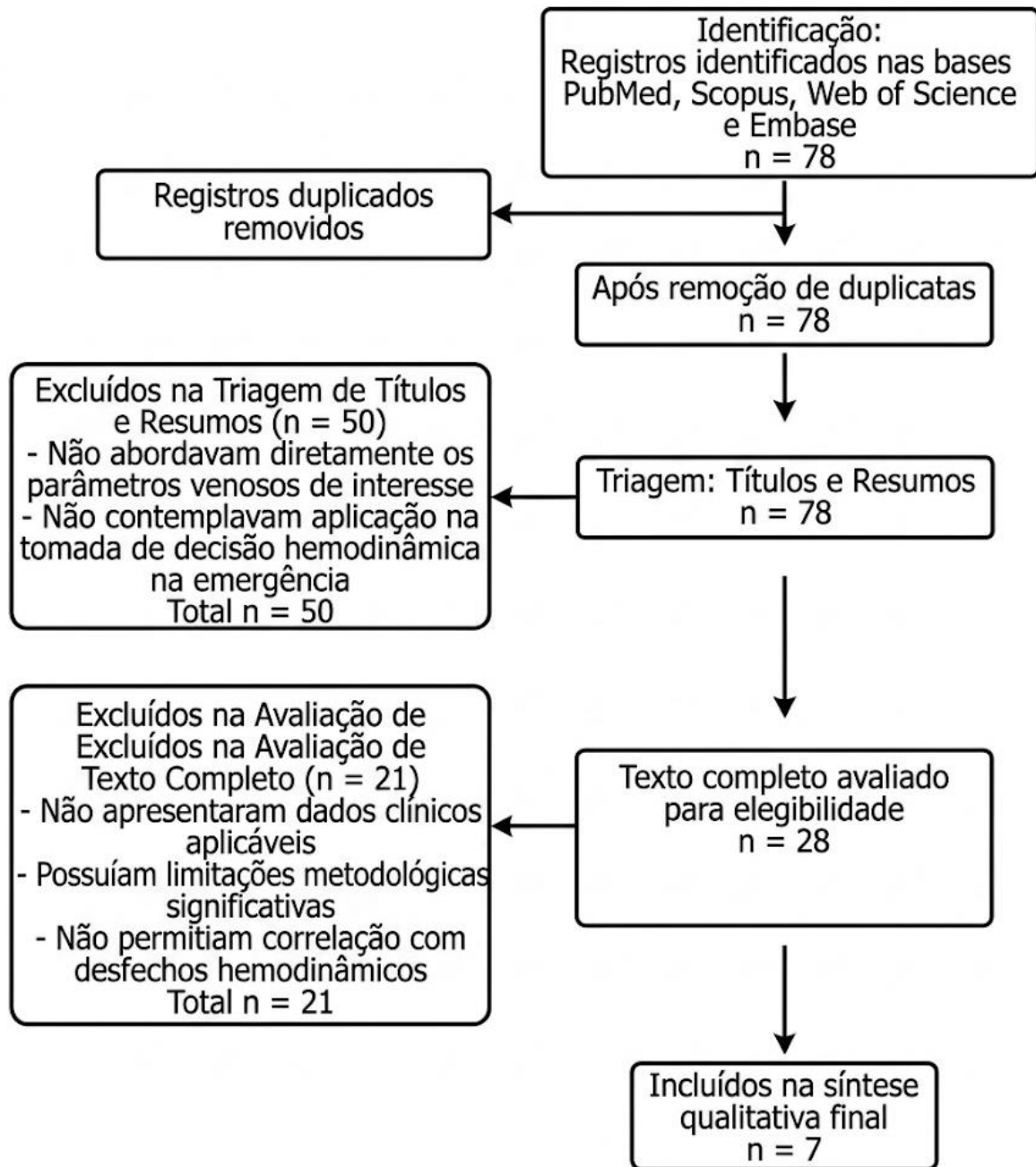
Foram excluídos artigos de revisão, editoriais, cartas ao editor, relatos de caso, estudos experimentais em animais, bem como aqueles que não abordaram diretamente a aplicação clínica dos parâmetros venosos na avaliação hemodinâmica em contexto de emergência ou que apresentaram dados insuficientes para análise. Estudos envolvendo exclusivamente ambiente de terapia intensiva, sem correlação com o cenário de emergência, também foram excluídos.

Inicialmente, foi realizada a triagem dos títulos e resumos por dois revisores independentes. Em seguida, os artigos potencialmente elegíveis foram submetidos à leitura na íntegra para avaliação dos critérios de inclusão e exclusão. Divergências entre os revisores foram resolvidas por consenso ou com a participação de um terceiro avaliador. O processo de seleção dos estudos foi descrito por meio de fluxograma conforme as recomendações do PRISMA (Fluxograma 1).

A busca nas bases de dados identificou um total de 78 registros. Após a remoção de duplicatas, os estudos remanescentes foram submetidos à triagem por título e resumo. Durante essa etapa, parte dos estudos foi excluída por não abordar diretamente os parâmetros venosos de interesse ou por não contemplar sua aplicação na tomada de decisão hemodinâmica na emergência.

Os artigos considerados potencialmente relevantes foram avaliados na íntegra, sendo excluídos aqueles que não apresentaram dados clínicos aplicáveis, que possuíam limitações metodológicas significativas ou que não permitiam correlação com desfechos hemodinâmicos. Ao final do processo de seleção, 7 estudos foram incluídos na análise qualitativa.

Fluxograma 1: Fluxograma de seleção dos estudos conforme as diretrizes do PRISMA. A busca bibliográfica identificou 78 registros nas bases de dados. Após a remoção de duplicatas, os estudos remanescentes foram submetidos à triagem por título e resumo. Durante essa etapa, parte dos estudos foi excluída por não abordar diretamente os parâmetros venosos ou sua aplicação clínica na emergência. Os artigos potencialmente relevantes foram avaliados na íntegra, sendo excluídos aqueles que não atenderam aos critérios de elegibilidade. Ao final, 7 estudos foram incluídos na síntese qualitativa.



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos estudos selecionados, apresento a análise integrada dos resultados e discussões para compor sua revisão sistemática. O texto foi estruturado para responder ao objetivo de sintetizar as evidências sobre o uso de parâmetros venosos na tomada de decisão hemodinâmica em emergência e cuidados críticos (Tabela 1).

Tabela 1: Síntese das evidências sobre a utilização de parâmetros venosos ($ScvO_2$, ΔPCO_2 e razão $\Delta PCO_2/C(a-v)O_2$) na monitorização e tomada de decisão hemodinâmica em pacientes críticos e de emergência.

Autor	Tema do estudo	Objetivo	Principais resultados
Kim <i>et al.</i> (2003) ⁷	$ScvO_2$ como parâmetro hemodinâmico	Avaliar a concordância entre $ScvO_2$ e $SmvO_2$ e sua utilidade no tratamento de pacientes críticos.	Existe correlação significativa ($r=0,70$) entre $ScvO_2$ e $SmvO_2$. A $ScvO_2$ correlaciona-se com o índice cardíaco, DO_2 e extração de oxigênio, sendo sugerida como valor hemodinâmico útil.
Bloom <i>et al.</i> (2014) ⁸	Papel da gasometria venosa na emergência	Revisão sistemática sobre a concordância entre pH, PCO_2 , bicarbonato e lactato arterial vs. venoso.	pH e bicarbonato mostram boa concordância. A concordância para PCO_2 é baixa, mas uma $PvCO_2$ periférica normal tem alto valor preditivo negativo para excluir hipercapnia arterial.
Mallat <i>et al.</i> (2016) ⁹	ΔPCO_2 na ressuscitação do choque séptico	Avaliar o uso do gradiente venoarterial de CO_2 para guiar a terapia em pacientes com choque séptico.	O ΔPCO_2 (> 6 mmHg) identifica pacientes inadequadamente ressuscitados, mesmo com $ScvO_2 > 70\%$. Ajuda a decidir entre inotrópicos, fluidos ou correção de hemoglobina.
Nassar & Mallat (2019) ¹⁰	Variáveis derivadas de CO_2 em pacientes críticos	Analisar a fisiologia e o valor clínico das variáveis de CO_2 no manejo hemodinâmico.	O ΔPCO_2 é inversamente proporcional ao débito cardíaco. A relação $\Delta PCO_2/C(a-v)O_2$ detecta metabolismo anaeróbio global (quociente respiratório elevado).
Miranda <i>et al.</i> (2020) ¹¹	$ScvO_2$ perioperatória e mortalidade	Avaliar a correlação entre a $ScvO_2$ em cirurgia cardíaca e o desfecho de óbito.	$ScvO_2$ inicial $< 70\%$ é um fator de risco independente para mortalidade (OR 2,94). Observou-se queda progressiva da $ScvO_2$ do intra para o pós-operatório.
Sánchez-Díaz <i>et al.</i> (2021) ¹²	Monitorização com duas gasometrias	Revisão narrativa sobre $ScvO_2$, ΔPCO_2 e a razão $\Delta PCO_2/\Delta CavO_2$ como ferramentas acessíveis.	Variáveis gasométricas permitem monitorização não invasiva/acessível que reflete o estado microcirculatório e metabólico real, guiando decisões clínicas.
Hørsdal (2025) ¹³	ΔPCO_2 no choque cardiogênico	Avaliar se o uso do gradiente de CO_2 melhora desfechos no choque cardiogênico.	O ΔPCO_2 elevado é um indicador precoce de falência circulatória e má perfusão tecidual, associado a maior mortalidade e tempo de ventilação em pacientes cardíacos.

A análise da literatura demonstra que a utilização da gasometria venosa, especificamente a saturação venosa central de oxigênio ($ScvO_2$) e o gradiente venoarterial de dióxido de carbono (ΔPCO_2), constitui uma ferramenta de monitorização hemodinâmica acessível e de baixo custo.



Estudos indicam que a ScvO₂ apresenta uma correlação significativa com a saturação mista de oxigênio (SmvO₂), validando seu uso como um substituto prático à beira do leito. Essa variável atua como um sentinela da relação entre a oferta global de oxigênio (DO₂) e o consumo tecidual (VO₂), sendo essencial para identificar estados de hipoperfusão precocemente.¹⁴ Em cenários de alta complexidade, como o pós-operatório de cirurgia cardíaca, a ScvO₂ revelou-se um fator de risco independente para mortalidade, onde valores inferiores a 70% estão associados a desfechos desfavoráveis. No entanto, a literatura alerta que a normalização da ScvO₂ não garante a ausência de hipóxia tecidual, o que exige a integração de outros indicadores.¹⁵

O diferencial de pressão de CO₂ (Δ PCO₂) surge como um parâmetro dinâmico que complementa as limitações da saturação de oxigênio ao refletir a adequação do fluxo sanguíneo. Diferente do oxigênio, o acúmulo de CO₂ no compartimento venoso depende primariamente do débito cardíaco, atuando como um marcador de estagnação circulatória.¹⁶

Em pacientes com choque séptico, o Δ PCO₂ superior a 6 mmHg identifica aqueles que permanecem inadequadamente ressuscitados, mesmo quando os alvos tradicionais de pressão arterial e saturação parecem atingidos. No contexto do choque cardiogênico, esse gradiente é apontado como um indicador precoce de falência circulatória, correlacionando-se com a gravidade do quadro e a necessidade de ventilação prolongada. A sensibilidade do Δ PCO₂ permite que o clínico ajuste terapias inotrópicas ou de reposição volêmica com base na capacidade de "lavagem" do CO₂ tecidual.¹⁷

A sofisticação da monitorização hemodinâmica evoluiu com a análise da razão Δ PCO₂/C(a-v)O₂, que mimetiza o quociente respiratório. Essa variável é capaz de detectar a presença de metabolismo anaeróbio global, diferenciando pacientes com hipóxia tecidual real daqueles com elevações de lactato por outras vias metabólicas.¹⁸ A literatura sugere que essa razão é um preditor robusto de complicações pós-operatórias em pacientes cirúrgicos de alto risco. Para o emergencista, a aplicação prática estende-se à gasometria venosa periférica, que embora não substitua a arterial para valores absolutos de PCO₂, possui alto valor preditivo negativo para excluir hipercapnia respiratória.

Assim, a combinação desses parâmetros permite uma visão multidimensional do estado microcirculatório e metabólico, guiando a tomada de decisão médica de forma mais assertiva e personalizada. Em última análise, os parâmetros venosos consolidam-se como ferramentas indispensáveis que, apesar dos avanços tecnológicos, mantêm sua relevância clínica devido à sólida base fisiológica que oferecem.



4. CONCLUSÕES

Com base nas evidências sintetizadas nesta revisão, as conclusões sobre a utilização de parâmetros venosos na monitorização hemodinâmica são as seguintes:

A utilização da gasometria venosa central estabelece-se como uma estratégia clínica fundamental, oferecendo uma visão multidimensional da perfusão tecidual que supera as limitações da monitorização macro-hemodinâmica isolada. A saturação venosa central de oxigênio (ScvO₂) consolida-se como um biomarcador prognóstico crítico, especialmente no período perioperatório, onde valores inferiores a 70% servem como um alerta precoce e independente para o risco de mortalidade. No entanto, conclui-se que a ScvO₂ não deve ser utilizada como parâmetro exclusivo, uma vez que sua normalização pode mascarar estados de hipóxia citotóxica ou disfunção microcirculatória persistente.

O gradiente venoarterial de dióxido de carbono (Δ PCO₂) conclui-se ser o indicador de fluxo mais sensível para identificar a estagnação circulatória, sendo superior à ScvO₂ na detecção de débito cardíaco inadequado em pacientes com choque séptico e cardiogênico. A persistência de um Δ PCO₂ elevado (> 6 mmHg) após as manobras iniciais de ressuscitação é um forte indicativo de que a perfusão tecidual permanece comprometida, correlacionando-se com piores desfechos clínicos e maior necessidade de suporte ventilatório. Além disso, a análise dinâmica das variações de Δ PCO₂ e ScvO₂ demonstra utilidade prática na predição da responsividade a fluidos, auxiliando na prevenção da sobrecarga hídrica em pacientes criticamente enfermos.

Por fim, a razão Δ PCO₂/C(a-v)O₂ surge como a ferramenta mais refinada para a identificação do metabolismo anaeróbio global à beira do leito. Conclui-se que este parâmetro é um preditor fidedigno da incapacidade de clareamento do lactato, permitindo distinguir precocemente os pacientes que necessitam de intervenções hemodinâmicas mais agressivas ou escalonadas. Em suma, a integração sistemática desses parâmetros venosos — ScvO₂, Δ PCO₂ e suas razões — proporciona uma tomada de decisão médica mais assertiva, acessível e fundamentada na fisiologia cardiovascular, sendo indispensável para a otimização do manejo hemodinâmico em ambientes de emergência e terapia intensiva.



REFERENCIAS

1. Noor A, Liu M, Jarman A, Yamanaka T, Kaul M. Point-of-Care Ultrasound Use in Hemodynamic Assessment. *Biomedicines*. 2025;13(6):1426.
2. Lee GR, Kim EY. Prognostic Significance of Venous-to-Arterial CO₂ Difference in Critically Ill Patients After Major Abdominal Surgery. *Biomedicines*. 2025;13(9):2295.
3. Miranda CA, Meletti JFA, Lima LHN, Marchi E. Perioperative central venous oxygen saturation and its correlation with mortality during cardiac surgery: an observational prospective study. *Braz J Anesthesiol*. 2020;70(5):484-90.
4. Ltaief Z, Schneider AG, Liaudet L. Pathophysiology and clinical implications of the veno-arterial PCO₂ gap. *Crit Care*. 2021 Aug 31;25(1):318.
5. Valeanu L, Bubenek-Turconi SI, Ginghina C, Balan C. Hemodynamic Monitoring in Sepsis—A Conceptual Framework of Macro- and Microcirculatory Alterations. *Diagnostics*. 2021;11(9):1559.
6. Elendu C, Amaechi DC, Okatta AU, Amaechi EC, Elendu TC, Ezeh CP, et al. The impact of simulation-based training in medical education: A review. *Medicine (Baltimore)*. 2024 Jul 5;103(27):e38813.
7. Mallat J, Lemyze M, Tronchon L, Vallet B, Thevenin D. Use of venous-to-arterial carbon dioxide tension difference to guide resuscitation therapy in septic shock. *World J Crit Care Med*. 2016 Feb 4;5(1):47-56.
8. Kim SY, Min YG, Lee YJ, Jung YS. Central Venous Oxygen Saturation as a Hemodynamic Parameter in Critically ill Patients. *J Korean Soc Emerg Med*. 2003;14(1):88-92.
9. Hørsdal OK. Can utilization of the venous-to-arterial carbon dioxide difference improve patient outcomes in cardiogenic shock? A narrative review. *Am Heart J Plus*. 2025 Jan 30;50:100504.
10. Bloom BM, Grundlingh J, Bestwick JP, Harris T. The role of venous blood gas in the emergency department: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Emerg Med*. 2014 Apr;21(2):81-8.
11. Miranda CA, Meletti JFA, Lima LHN, Marchi E. Perioperative central venous oxygen saturation and its correlation with mortality during cardiac surgery: an observational prospective study. *Braz J Anesthesiol*. 2020 Sep-Oct;70(5):484-90.
12. Sánchez-Díaz JS, Peniche-Moguel KG, Rivera-Solís G, Martínez-Rodríguez EA, Del-Carpio-Orantes L, Pérez-Nieto OR, et al. Hemodynamic monitoring with two blood gases: "a tool that does not go out of style". *Rev Colomb Anesthesiol*. 2021 Jan-Mar;49(1):e928.



13. Nassar B, Mallat J. CO₂-derived variables for hemodynamic management in critically ill patients. *J Thorac Dis.* 2019 Jul;11(Suppl 11):S1525-S1527.
14. McDiarmid AK, Chambers BS, Broadbent DA, Patel R, Matthews G, Gonzalez-Fernandez O, et al. Development and Validation of a Noninvasive Model of Mixed Venous Oxygen Saturation in Heart Failure. *JACC Adv.* 2026 Jan;5(1):102484.
15. Miranda CA, Meletti JFA, Lima LHN, Marchi E. Perioperative central venous oxygen saturation and its correlation with mortality during cardiac surgery: an observational prospective study. *Braz J Anesthesiol.* 2020 Sep-Oct;70(5):484-90.
16. Mallat J, Abou-Arab O, Lemyze M, Saleh D, Guinot PG, Fischer MO. Changes in central venous-to-arterial PCO₂ difference and central venous oxygen saturation as markers to define fluid responsiveness in critically ill patients: a post-hoc analysis of a multi-center prospective study. *Cleveland Clinic Abu Dhabi*; 2026.
17. Kriswidyatomo P, Pradnyan Kloping Y, Guntur Jaya M, Adrian Nugraha R, Prawira Putri C, Hendrawan Putra D, et al. Prognostic Value of PCO₂ Gap in Adult Septic Shock Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Turk J Anaesthesiol Reanim.* 2022 Oct;50(5):324-31.
18. He HW, Liu DW, Long Y, Wang XT. High central venous-to-arterial CO₂ difference/arterial-central venous O₂ difference ratio is associated with poor lactate clearance in septic patients after resuscitation. *J Crit Care.* 2016 Feb;31(1):76-81.