AUTORES:

Juliana Scholles Staudt ¹

Lovaine Rodrigues ¹

Rodrigo Rodrigues ^{1,2}

¹ Centro de Saúde, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Brasil.

² Laboratório de Fisiologia do Exercício e Avaliação Física, Centro Universitário da Serra Gaúcha, Caxias do Sul, Brasil.

<https://doi.org/10.5628/RPCD.18.03.16>

A prática do carregamento de carboidratos e seus efeitos sobre parâmetros metabólicos e desempenho de *endurance*:

Uma revisão sistemática

PLAVRAS CHAVE:

Carboidratos. Dieta,

Carregamento de carboidratos.

Endurance. Performance atlética.

SUBMISSÃO: 14 de Julho de 2018

ACEITAÇÃO: 29 de Dezembro de 2018

RESUMO

Objetivo: Analisar o efeito do uso do carregamento de carboidratos no desempenho de endurance por meio de uma revisão sistemática. **Metodologia:** A busca foi realizada nas bases de dados PubMed/MEDLINE, Scielo e Lilacs, utilizando os termos carregamento de carboidratos e desempenho na prática de exercícios de endurance. Os estudos selecionados foram submetidos à avaliação da qualidade metodológica (Escala de PEDro), obtendo o escore igual ou maior a seis pontos. **Resultados:** Foram encontrados 3296 artigos, dos quais dez atingiram os critérios de inclusão. A realização dos carregamentos com doses acima de 7 g de carboidrato/kg de massa corporal/dia, por pelo menos três dias geraram melhora no desempenho, em comparação aos grupos controle/ensaio teste. **Conclusão:** O carregamento de carboidratos é uma boa estratégia para a melhora do desempenho em provas de endurance.

The carbohydrate loading practice and their effects on metabolic parameters and endurance performance: A systematic review

ABSTRACT

Objective: To analyze through a systematic review the effect of carbohydrate loading on endurance performance. **Methods:** The search was conducted with PubMed/MEDLINE, Scielo, and Lilacs databases. The following terms were considered: carbohydrate loading and endurance performance. The selected studies were submitted to methodological quality assessment using the PEDro Scale and scored equal to or greater than six points. **Results:** 3296 articles were found, of which 10 met the inclusion criteria. Carbohydrate loading at doses above 7 g/kg of body mass/day, for at least three days, showed improved performance compared to control groups/bouts. **Conclusion:** Carbohydrate loading is a good strategy for improving performance in endurance trials.

KEYWORDS:

Carbohydrates. Diet. Carbohydrate loading.
Physical endurance. Athletic performance.

INTRODUÇÃO

Nos dias atuais está se tornando cada vez mais popular a prática de esportes de resistência/endurance e mais pessoas estão participando de competições de meia maratona, maratonas, ultramaratonas, meio Ironman e até Ironman, com duração entre 2 a 17 h (Jeukendrup, 2011). Por definição, os exercícios de endurance podem ser definidos como aqueles com duração de 30 min ou mais (Saris et al., 2003). As atividades de endurance geram um elevado gasto energético e aumento das taxas de oxidação de carboidratos. Estudos apontam a importância do consumo adequado de carboidratos (CHO) para postergar ou evitar a fadiga em exercícios de longa duração (Burke, Claassen, Hawley, & Noakes, 1998; Haff, Lehmkuhl, MCCoy, & Stone, 2003; McArdle, Kath, & Katch, 2011). As recomendações da Sociedade Brasileira de Medicina do Esporte (Hernandez et al., 2009) são diferenciadas para os participantes deste tipo de prova, que devem consumir 60 a 70% do aporte energético total na forma de carboidratos, como da mesma forma orienta o *American College of Sports Medicine* (ACSM) (2016).

Desde a década de 1930 já era evidenciado um aumento da utilização de carboidratos com o aumento da intensidade do exercício (Bergstrom, & Hultman, 1967; Hargraves, McConell, & Proietto, 1995; Hearris, Hammond, Fell, & Morton, 2018). Ainda, nesta mesma época foi demonstrado o efeito do aumento do estoque de glicogênio através da manipulação dietética e a manutenção ou aumento da capacidade de endurance (Verhagen et al., 1998). Nessa perspectiva, uma dieta rica em carboidratos (mais de 70% do total energético) e os altos níveis de glicogênio muscular parecem aumentar o desempenho de endurance em comparação a uma dieta normoglicídica (50%) (ACSM, 2016; Hernandez et al., 2009).

Nesse sentido, Aoki e Seelaender (1999) relatam que a capacidade de manter a atividade de endurance por maior tempo pode ser limitada pelo processo de fadiga, desencadeada pela duração, intensidade e natureza do exercício, composições das fibras musculares, nível de condicionamento físico, fatores ambientais (altitude, umidade, temperatura) e também pelos níveis reduzidos de glicogênio muscular e hepático (Hargraves et al., 1995). Considerando que o processo de fadiga pode ser instalado por alterações nas concentrações intracelulares de cálcio, hidrogênio, fosfato inorgânico e Trifosfato de Adenosina (ATP), que influenciam na produção de força, todos esses fatores não parecem constituir-se, por si só, como determinantes isolados da fadiga. Analisando isto, este processo pode ocorrer devido à redução dos níveis de glicogênio muscular (Ament & Verkerk, 2009; Sahlin, Tonkonogi, & Söderlund, 1988).

Partindo desse pressuposto, diversos protocolos para aumentar as reservas de glicogênio muscular foram desenvolvidos (Clark, 1998; Liebman & Wilkinson, 1996), uma vez que há um afunilamento do volume e intensidade do treinamento seis a 15 dias antes da competição e que o consumo de carboidrato seja progressivamente aumentado para 70% ou mais do valor energético total nos últimos três dias, enfatizando a sobrecarga de car-

boidratos dias antes da competição, no intuito de aumentar os estoques de glicogênio e retardar a fadiga. Isso possibilitaria a manutenção e a melhoria do desempenho do praticante (Aoki & Seelaender, 1999).

O papel da ingestão de carboidratos é crucial para o desempenho de endurance (ACSM, 2016; Hernandez et al., 2009). Uma recente revisão sistemática demonstrou o efeito benéfico do uso de carboidrato previamente à prova em ciclistas treinados (Pochmuller, Schwingshackl, Colombani, & Hoffmann, 2016). Ainda, revisões narrativas prévias indicam o uso do carregamento de carboidratos para potencializar os estoques de glicogênio (Burke, Millet, & Tarnopolsky, 2017), sendo esta estratégia menos sensível em mulheres (Deldicque, & Francaux, 2015). Assim, o uso da manipulação dietética pode ser um bom recurso para promover o maior estoque de energia, resultando na manutenção e/ou melhoria no desempenho. Por essa razão, há décadas o carregamento de carboidratos é utilizado por muitos praticantes de endurance. Todavia, não observamos estudos de revisão sistemática sobre esta temática, ficando as orientações sobre esta estratégia restritas a estudos de revisão narrativa (Burke et al., 2017; Deldicque, & Francaux, 2015). Portanto, este trabalho objetiva agrupar e analisar, através de uma revisão sistemática, o efeito do uso de carregamento de carboidratos no desempenho de endurance.

METODOLOGIA

CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE

Foram incluídos somente ensaios clínicos avaliando o uso de prática de carregamento de carboidratos e seus efeitos no desempenho de endurance, sendo excluídos os estudos aplicados em crianças, adolescentes, idosos ou com patologias e também estudos que não apresentavam parâmetros de mensuração de desempenho de endurance e o uso de carboidratos na forma de carregamento.

ESTRATÉGIA DE BUSCA E SELEÇÃO DO ESTUDO

A busca foi feita nas bases de dados PubMed/MEDLINE, Scielo e Lilacs. A pesquisa foi realizada entre março e abril de 2018 e seguiu a estratégia de busca ilustrada no quadro 1. A estratégia de busca utilizou termos de acordo com a Medical Subject Headings (MeSH Terms) do US National Library of Medicine (MEDLINE), em todos os campos de busca (*all fields*), incluindo termos na forma singular e plural. Foi utilizado o filtro apenas para selecionar pesquisas originais em humanos e adultos, nenhuma forma de restrição quanto ao ano de publicação. Os critérios de inclusão utilizados foram: ser original e disponível em inglês; e os critérios de exclusão: artigos que relacionassem animais, doenças e/ou adolescentes e/ou idosos.

QUADRO 1. Estratégia de busca utilizada na base de dados MEDLINE.

#4	Add	Search (#1) AND #2) AND #3
#3	Add	Search ("humans"[MeSH Terms] AND "adult"[MeSH Terms]) AND "adolescent"[MeSH Terms])
#2	Add	Search ("carbohydrate loading" OR "supercompensation" OR "carbohydrate supplementation" OR "carbohydrate" OR "carbohydrates" OR "glycogen" OR "sugar" OR "glucose" OR "fructose" OR "carbohydrate supplements" OR "supplements" OR "supplement" OR "dietary supplement" OR "dietary supplementation" OR "food supplemented") OR "food supplementation" OR "supplemented food"
#1	Add	Search ("endurance athlete" OR "endurance athletes" OR "runner" OR "runners" OR "running" OR "bicycling" OR "cycling" OR "marathon")

FIGURA 1. Fluxograma dos estudos incluídos.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE METODOLÓGICA

Somente os estudos incluídos após análise de texto completo foram submetidos a uma avaliação da qualidade metodológica, a partir da escala de PEDro (Verhagen et al., 1998). Essa escala permite avaliar, por meio de onze itens, aspectos relevantes da validade interna dos estudos, e ainda verificar se os próprios possuem informação estatística suficiente

para serem interpretáveis. O escore total varia de 0 (zero) a 10 (dez), sendo um item da escala não é pontuado. Quando o escore obtido pela escala de PEDro for maior ou igual a seis pontos, o estudo será considerado de alta qualidade. Caso o valor obtido seja inferior a seis pontos, o estudo será considerado com baixa qualidade. Esta classificação foi usada como base para proceder à síntese de evidência científica, de modo a possibilitar a discussão sobre a força ou fraqueza dos estudos incluídos na revisão.

RESULTADOS

DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS

Após excluídas as duplicatas, 3290 artigos passaram por processo de leitura dos títulos, resumo e leitura completa dos artigos, conforme Figura 1. Nesse ínterim, agrupou-se o maior número de estudos que apresentavam os critérios desta pesquisa e o mínimo de características de variáveis mensurais a fim de criar uma revisão sistemática com maior valor informativo e harmônico. Ao final, dez estudos foram selecionados e incluídos nesta pesquisa, que se utilizaram da dieta com alta ingestão de carboidratos e analisaram seu efeito em praticantes de exercícios aeróbios, totalizando uma amostra 189 indivíduos, composta conforme quadro 2.

Em relação ao carregamento de carboidratos, dois estudos (Achten et al., 2004; Sousa et al., 2010) utilizaram dias seguidos de alta ingestão de carboidratos durante o período de sobrecarga de exercício, oito dias e 11 dias respectivamente sem esgotamento de glicogênio prévio. Já Geji et al. (2017) utilizaram dois grupos, do qual ambos executaram exercícios de esgotamento de glicogênio muscular (1 h de exercício intervalado usando bicicleta) seguido de 7 h de recuperação no qual um grupo realizou a carga de carboidrato e outro grupo não, totalizando 11 dias de manipulação em quatro semanas de experimento. Dois estudos apresentaram metodologia semelhante (Sullo et al., 1998; Williams, Brewer, & Walker, 1992) em que os primeiros três dias foram consumidos 70% a mais de carboidratos que a ingestão regular (pré-definida), seguidos de quatro dias com ingestão 35% maior de carboidratos que a dieta pré-definida. Já os demais estudos utilizaram de três a quatro dias de carregamento de carboidratos com a ingestão de carboidratos entre 68 a 75% do total alimentar consumido pelos participantes.

Quanto ao consumo de carboidratos por gramas de peso, a recomendação é que seja em torno de 7 a 12g (ACSM, 2016; Hernandez et al., 2009). Os estudos incluídos mantiveram-se dentro da recomendação com exceção de dois estudos (Andrews, Sedlock, Flynn, Navalita, & Hongguang, 2003; Geji et al., 2017). que utilizaram 6g e 5.4g de carboidratos por kg/peso respectivamente e sendo os únicos compostos exclusivamente por mulheres e não apresentaram melhora do desempenho.

Quanto ao uso de grupo ou teste de controle, oito ensaios demonstraram formas distintas para comparar e analisar os resultados, como demonstrado no quadro 2. Noakes et al. (1988) não apresentaram nenhuma forma de grupo controle com ingestão reduzida ou placebo, considerando o risco que poderia causar à saúde dos participantes durante a prática de exercícios de endurance (maratona e ultramaratona). Já Kang et al. (1995) optaram por utilizar a mesma forma de carregamento de carboidratos para ambos os grupos, apenas utilizando a suplementação e placebo durante o teste de desempenho, que possibilitou a análise tanto do uso do suplemento quanto do carregamento de carboidratos.

Quanto aos desfechos mensurados, os níveis de lactato sanguíneo foram analisados em sete dos 10 estudos (Quadro 2). Sousa et al. (2010), apresentaram aumento em ambos os grupos e sem uma diferença significativa entre eles, o que ocorreu de forma semelhante no estudo Rauch et al. (1995), porém, sem aumento significativo entre os testes. Já Andrews, Sedlock, Flynn, Navalita e Hongguang (2003) observaram que o nível de lactato aumentou no grupo com carregamento de carboidratos, comparado aos grupos que usaram apenas suplementação e placebo. Esse aumento também ocorreu por Chen et al. (2007), nos grupos que realizaram o carregamento de carboidratos. Dado curioso foi demonstrado por Sullo et al. (1998), que participantes treinados com ou sem carregamento não apresentaram alteração do lactato entre os ensaios. Já os não treinados com carregamento de carboidratos apresentaram aumento do lactato.

De todos os estudos, apenas quatro coletaram dados do glicogênio muscular (Achten et al., 2004; Geji et al., 2017; Noakes et al., 1988; Rauch et al., 1995). Os autores não observaram diferença em participantes durante maratona e ultramaratona (Hearris et al., 2018). No estudo de Achten et al. (2004), houve uma redução no glicogênio muscular no grupo controle. Oposto a isso, Gejl et al. (2017) apresentaram aumento do glicogênio muscular em ambos os grupos (18% no grupo controle e 15% no grupo com carga de carboidrato) sem diferença significativa entre os grupos. No estudo de Rauch et al. (1995), o glicogênio muscular no grupo carregamento de carboidrato teve seus níveis elevados. Ao final dos experimentos, em ambos os grupos, o nível de glicogênio foi semelhante, não havendo uma relação direta entre o glicogênio pré-exercício e o desempenho final.

Considerando os níveis de glicose sanguínea (desfecho comum em quase todos os estudos incluídos nesta revisão), quatro estudos não apresentaram diferenças significativas nos resultados (Achten et al., 2004; Geji et al., 2017; Noakes et al., 1988; Rauch et al., 1995). Para Sousa et al. (2010), em ambos os grupos houve aumento dos níveis de glicose. Da mesma forma, os níveis de glicose foram maiores nos grupos com suplementação e/ou carregamento comparado ao grupo placebo no estudo de Andrews et al. (2003) e o mesmo resultado foi observado no estudo de Chen et al. (2007). Já no estudo de Williams et al. (1992) houve uma redução da glicose no segundo teste do grupo controle e no primeiro teste do grupo CHO.

Com os níveis de glicose reduzidos nos estudos, seis estudos optaram por analisar os ní-

veis de ácidos graxos livres. Nos estudos de Achten et al. (2004), Chen et al. (2007), Gejl et al. (2017), e Williams et al. (1992), os níveis de ácidos graxos foram mais altos no grupo controle em comparação aos outros grupos ou teste. Já no estudo de Chen et al. (2007), não houve diferença significativa entre os grupos com maior consumo de CHO, enquanto que no estudo de Kang et al. (1995), ambos os grupos apresentaram maiores níveis de ácidos graxos livres e no estudo de Noakes et al. (1988), houve um aumento progressivo durante os testes.

Todos os estudos analisaram o desempenho dos participantes através de protocolos específicos, sendo testes submáximos (Achten et al., 2004; Andrews et al., 2003; Kang et al., 1995; Rauch et al., 1995; Williams et al., 1992) e máximos (Chen et al., 2007; Geji et al., 2017; Noakes et al., 1988; Sousa et al., 2010). Os protocolos foram realizados em ambiente laboratorial e na rua, com simulações de provas e sessões de treinamento combinando esforços máximos e submáximos, tanto na corrida, quanto em bicicleta.

No estudo de Andrews et al. (2003), a diferença não foi significativa entre os grupos. Contudo, ao comparar com o grupo placebo, os grupos de carregamento e de suplementação foram mais rápidos em comparação ao primeiro ensaio. Esse mesmo resultado foi visto nos estudos de Chen et al. (2007) e de Williams et al. (1992), no qual o grupo CHO foi mais rápido no ensaio dois em comparação ao primeiro ensaio. Já Geji et al. (2017) também não apresentou diferença entre os grupos no teste contrarrelógio, sendo que ambos os grupos apresentaram melhora na potência e performance. Esta pequena diferença entre os grupos pode ter ocorrido pela depleção insuficiente de glicogênio por se tratar de atletas de elite compondo o estudo.

No estudo de Noakes et al. (1988) não apresentaram uma forma de verificação de desempenho comparativo. Esse estudo comparou diferentes tipos e percentuais de suplementos de CHO utilizados durante as provas, sem observar diferenças entre as situações. O estudo demonstrou que o carregamento de carboidrato prévio melhora o desempenho por retardar a hipoglicemia e, por consequência, a fadiga em provas de maratona e ultramaratona.

O estudo de Sullo et al. (1998) apresenta um dado interessante, visto que os participantes não treinados apresentaram uma melhora significativamente entre o primeiro e o segundo ensaio com o uso de CHO, o que não ocorreu com os outros grupos. Já os estudos de Achten et al. (2004) e Sousa et al. (2010) observaram queda de desempenho nas atividades propostas. Todavia, o grupo com maior consumo de carboidratos apresentou queda menor de rendimento.

Em relação ao tempo até exaustão, o estudo de Kang et al. (1995) observou um tempo 35 min maior com o uso de CHO. Já o grupo placebo não apresentou diferença significativa no tempo de exaustão entre os ensaios. Resultado semelhante ocorreu no estudo de Rauch et al. (1995), em que o grupo CHO conseguiu ser mais rápido e ter mais potência em comparação ao primeiro ensaio, o que não ocorreu no grupo que manteve a ingestão habitual de carboidratos.

QUADRO 2. Caracterização dos estudos quanto à amostra, carregamento de carboidrato efetuados e suas variações e as variáveis mensuradas.

Estudos	Amostra	Esgotamento glicogênio	g/kg/dia	% CHO Carregamento	Calorias	Dias de carregamento
Achten et al. (2004)	16 homens ciclistas	Não realizado	8,50g/kg/dia	65%	GCHO= CON	11 dias
Andrews et al. (2003)	8 mulheres corredoras	Exercícios por 2 dias com consumo usual CHO	5,40g/kg/dia	75%	GCHO= CON	4 dias
Chen et al. (2007)	9 homens corredores	Exercícios por 1 dia	10g/kg/dia	73%	GCHO= CON	3 dias
Gejl et al. (2017)	26 mulheres Ciclistas/ triatletas	Exercício pela manhã/ dias de testes.	6,0g/kg/dia	72%	GCHO= CON	11 dias
Kang et al. (1995)	7 homens corredores	Exercícios e 3 dias consumo de 50% CHO	7,70g/kg/dia	70%	-	3 dias
Noakes et al. (1988)	36 homens corredores	100-150g/dia de CHO por 3 dias	8g/kg/dia	Não estima	-	3 dias
Rauch et al. (1994)	12 homens ciclistas	Não realizado	10,50g/kg/dia	68%	GCHO≠ CON	4 dias
Sousa et al. (2010)	24 homens corredores	Não realizado	9,90g/kg/dia	61%	GCHO= CON	8 dias
Sullo et al. (1998)	24 homens corredores	Não realizado	8g/kg/dia	53-54%	GCHO= CON	7 dias
Williams et al. (1992)	18 homens e 9 mulheres corredores	Não realizado	7g/kg/dia	52-54%	GCHO= CON	7 dias

Legenda: CHO: carboidrato; CHO2: participantes sem treinamento com carregamento de carboidratos; CON: grupo controle; CON %CHO: percentual de carboidratos no grupo de controle; G: grama; GCHO: grupo usou carregamento de carboidrato; g/Kg/dia: gramas por quilo por dia; HL: High GI e Low GL (alto índice glicêmico e baixa carga glicêmica); S: suplementação; ↑: aumentou; ↓: diminuiu; =: igual; ≠: diferente; -: não analisado.

Grupo CON%CHO	Lactato	Glicogênio muscular	Glicose	Ácidos Graxos Livres	Glicerol	Desempenho
41%	↓CON	↓CON	Sem diferença significativa	↑CON	↑CON	GCHO teve menor queda de rendimento.
50%	↑GCHO	-	↑GCHO+S	-	↑CON	GCHO mais rápido que CON sem S, sem diferença significativa.
30%	↑GCHO	-	↓HL ↑GCHO	↑HL	↑HL	GCHO mais rápido.
13%	-	Sem diferença significativa	-	↑Ambos (menor tendência GCHO)		GCHO maior intensidade o teste contrarrelógio, sem diferença significativa
-	-	-	↓CON	↑Ambos	↓GCHO	GCHO aumentou o tempo de exaustão.
-	-	Sem diferença significativa	Sem diferença significativa	↓ ambos		O tipo de suplemento não interferiu no desempenho.
58%	Não alterou	Sem diferença significativa	Sem diferença significativa	-		GCHO mais rápido e maior potência.
54%	↑GCHO/CON	-	↑GCHO/CON	-	↑GCHO/CON	GCHO menor queda rendimento.
Manteve ingestão	↑CHO2 ↓C2	-	↓CHO2 1º ensaio	-		CHO2 melhorou o desempenho 2º ensaio.
-	↑GCHO 2º ensaio ↓CON 1º ensaio	-	↓GCHO 1º ensaio ↓CON 2º ensaio	↑CON 2º ensaio	↑CON 2º ensaio	GCHO mais rápido no 2º ensaio.

QUALIDADE METODOLÓGICA

Dos estudos incluídos na revisão sistemática, três estudos apresentaram escore da escala de PEDro em nove pontos (Chen et al., 2007; Geji et al., 2017; Sousa et al., 2010), dois estudos com escore oito (Rauch et al., 1995; Sullo et al., 1998) e quatro com escore sete (Achten et al., 2004; Andrews et al., 2003; Kang et al., 1995; Williams et al., 1992). Somente um apresentou escore em seis pontos (Noakes et al., 1988). O quadro 3 apresenta a análise da qualidade metodológica dos estudos incluídos. É importante ressaltar que esta escala não pontua de forma diferenciada os estudos com delineamento duplo-cego. Desta forma, vale destacar que quatro estudos (Chen et al., 2007; Geji et al., 2017; Sousa et al., 2010; Sullo et al., 1998) apresentavam o delineamento duplo-cego. Já um estudo não apresentou uma descrição clara se houve algum tipo de cegamento dos participantes ou avaliadores (Andrews et al., 2003).

QUADRO 3. Risco de viés dos estudos incluídos

Estudos	Achten et al. (2004)	Andrews et al. (2003)	Chen et al. (2007)	Geji et al. (2017)	Kang et al. (1995)	Noakes et al. (1988)	Rauch et al. (1994)	Sousa et al. (2010)	Sullo et al. (1998)	Williams et al. (1992)
1	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
2	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
3	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
4	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
5	N	N	S	S	N	N	S	S	S	N
6	N	N	S	S	N	N	S	S	N	S
7	S	S	S	S	S	N	S	S	S	S
8	S	S	S	S	S	S	N	S	S	N
9	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
10	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Score PEDro	7	7	9	9	7	6	8	9	8	7

Legenda: S- Sim; N- Não

1 – Critérios de elegibilidade; 2 – Aleatorização dos grupos; 3 – Alocação secreta; 4 – Similaridade clínica; 5 – Cegamento dos terapeutas; 6 – Cegamento dos avaliadores; 7 – Mensuração dos desfechos de pelo menos 85% da amostra; 8 – Análise por intenção de tratar; 9 – Comparação inter-grupos; 10 – Medidas de precisão e variabilidade.

DISCUSSÃO

Esta revisão sistemática foi realizada com intuito de verificar os efeitos do carregamento de carboidratos no metabolismo e no desempenho de endurance. Observamos que ainda existem divergências quanto ao uso desta técnica e a melhora do desempenho de atletas (Burke et al., 2017; Ivy, Res, Sprague, & Widzer, 2003). Vale ressaltar que os estudos in-

cluídos apresentaram baixo risco de viés a partir da análise de qualidade metodológica utilizada, o que aumenta o nível de evidência do presente estudo.

Quanto à quantidade de CHO utilizada durante o carregamento e o desempenho nos testes, apenas dois não apresentaram o resultado positivo (Andrews et al., 2003; Geji et al., 2017). Uma possível justificativa está na baixa quantidade de carboidratos utilizada nos protocolos, não atingindo os 7g a 12g/CHO/kg/dia, preconizado (ACSM, 2016; Hernandez et al., 2009). Os autores optaram apenas por adequar a ingestão de carboidratos dentro do percentual de 75% das calorias como fonte de carboidratos. No entanto, na prática de carregamento de carboidratos, é necessário considerar o cálculo g/CHO/kg/dia do atleta em questão, contemplando o mínimo de 7g/kg/dia, como aplicado pela maioria dos estudos aqui analisados.

O modelo clássico de carregamento de carboidratos preconiza a necessidade de realizar o esgotamento de glicogênio muscular prévio (através exercícios extenuantes e/ou dieta restrita de CHO) seguido de dias de alto consumo de carboidratos para promover aumento do estoque em até 40% (Bergstrom, Hermansen, Hultman, & Saltin, 1967; Bergstrom, & Hultman, 1967; Costill, 1988; Hearris et al., 2018; Karlsson, & Saltin, 1971; Sahlin et al., 1988). Contudo, este protocolo vem sendo alterado, considerando a possibilidade que os estoques de glicogênio destes praticantes estejam reduzidos pela carga de treinamento e o consumo alimentar insuficiente (Ahlorg, Bergstrom, Ekelund, & Hultman, 1967).

Nesta revisão, somente quatro estudos realizaram o esgotamento como prevê esse modelo (Andrews et al., 2003; Chen et al., 2007; Noakes et al., 1988) e apenas um analisou o nível de glicogênio muscular (Noakes et al., 1988). Como este estudo não teve um grupo controle, não foi possível análise comparativa entre o desempenho e os níveis de glicogênio muscular. No entanto, verificamos que, independente da quantidade de dias e/ou realização de esgotamento, o consumo em forma de sobrecarga de carboidratos é benéfico para melhorar e/ou manter o desempenho. No estudo de Bergstrom e Hultman (1967), os autores obtiveram resultados interessantes sobre os níveis de glicogênio, comparando três dietas distintas (rica em gordura e pobre em CHO, adequada em gordura e rica em CHO, pobre em gordura e rica em CHO) na prática de exercícios de endurance numa bicicleta ergométrica. O estudo concluiu que o maior uso de CHO na dieta aumenta os níveis de glicogênio muscular e resulta no melhor desempenho do atleta independente do uso de técnica específica.

A quantidade de dias necessários para realizar o carregamento de carboidratos foi de três a quatro dias entre os estudos incluídos na presente revisão. Com exceção dos estudos de Achten et al. (2004), Geji et al. (2017) e Sousa et al. (2010), a alta ingestão de CHO foi ao longo de todo o estudo, o que possibilitou a manutenção do desempenho dos participantes do grupo com maior consumo de carboidrato.

Os estudos realizados por Ahlborg et al. (1967), Bergström et al. (1967) e Karlsson e Saltin (1971) demonstravam que alto consumo de carboidrato prévio à prática de exercícios de endurance apresentavam vantagens no tempo de manutenção do esforço. Conforme Tegtbur,

Busse e Braumann (1993), a depleção de glicogênio muscular pode implicar em uma concentração reduzida de lactato sanguíneo principalmente em exercícios prolongados, resultantes da metabolização da glicose em piruvato. Esses resultados foram apresentados em estudos prévios em que o grupo controle teve uma redução dos níveis de lactato, inferindo em um maior esgotamento de glicogênio. Já os grupos que consumiram maior quantidade de carboidratos apresentaram manutenção ou aumento dos níveis de lactato sanguíneo (Sullo et al., 1998; Williams et al., 1992). Assim, parece haver maior utilização das reservas de glicogênio muscular, possibilitando a manutenção dos níveis energéticos dos praticantes para a execução prolongada do exercício, auxiliando na postergação do início da fadiga muscular.

A relação entre a glicose sanguínea e o carregamento de carboidratos não é direta, se considerarmos que o glicogênio muscular, hepático e glicose sanguínea são fontes energéticas primárias durante esse tipo de exercício físico. No entanto, no estudo de Rauch et al. (1995), ambos os grupos não tiveram diferenças significativas nos níveis de glicose sanguínea. Uma justificativa é o fato de ambos os grupos utilizarem suplementos de carboidratos durante o experimento. Por outro lado, Sousa et al. (2010), observaram que ambos os grupos aumentaram o nível de glicose no sangue, diferente do estudo de Achten et al. (2004), que usou o protocolo de sobrecarga de exercício durante 11 dias e não apresentou diferença significativa neste marcador. Nos outros estudos da presente revisão, os grupos que não fizeram uso de suplementação de carboidratos durante protocolo de exercício reduziram os níveis de glicose comparado aos que usaram CHO. Esses resultados já eram esperados, se avaliarmos que os níveis de glicose sanguínea podem apresentar uma queda quando não ofertado um aporte energético de forma adequada para os participantes, uma vez que a ingestão de carboidratos durante exercícios a 70% do consumo de oxigênio máximo ($VO^2_{m\acute{a}x}$) previne a queda da glicose sérica comparado à ingestão de água (Chen et al., 2007).

Os níveis de glicerol, nos seis estudos que analisaram esse marcador metabólico aumentaram nos grupos controle ou com menor ingestão de carboidratos comparado aos com altos níveis de carboidratos (Achten et al., 2004; Andrews et al., 2003; Chen et al., 2007; Sousa et al., 2010; Williams et al., 1992). Esses resultados já eram esperados em virtude do metabolismo do participante disponibilizar uma forma de aumentar o substrato energético através do glicerol e dos ácidos graxos. O glicerol é liberado e transportado pelo sangue até o fígado, onde pode ser utilizado na gliconeogênese ou servir de intermediário na glicólise.

Nos estudos de Achten et al. (2004), Gejl et al. (2017) e Williams et al. (1992) os níveis de ácidos graxos livres aumentaram nos grupos com menos consumo de carboidratos, indicando que os níveis de glicogênio muscular foram esgotados. Resultados semelhantes foram observados por Dohm et al. (1986), em que nove homens executando exercício aeróbico a 70% $VO^2_{m\acute{a}x}$ em jejum apresentaram maior mobilização e utilização de gordura comparado com os alimentados, devido a presença de ácidos graxos livres e glicerol.

Três estudos utilizaram protocolos de sobrecarga de exercícios por dias consecutivos (Achten et al., 2004; Geji et al., 2017; Sousa et al., 2010). Dois deles observaram manutenção do desempenho nos grupos que consumiram maior quantidade de carboidratos, sugerindo uma recuperação total dos estoques de glicogênio muscular (Achten et al., 2004; Sousa et al., 2010), o que não ocorreu no estudo de Geji et al. (2017), que mesmo apresentando melhora no desempenho do grupo que realizou a carga de carboidrato a diferença não foi significativa entre os grupos. Resultado semelhante foi relatado por Costill et al. (1988), em que doze homens nadadores bem treinados foram submetidos a 10 dias de treinamento intenso com ingestão diferenciada de CHO. O grupo com menor consumo de CHO apresentou redução de desempenho.

Os estudos que realizaram o carregamento de mais de 7g/CHO/kg/dia, por um período de três ou mais dias, obtiveram melhora no desempenho final, em comparação aos grupos controle ou ao ensaio teste (Achten et al., 2004; Chen et al., 2007; Kang et al., 1995; Noakes et al., 1988; Rauch et al., 1995; Sousa et al., 2010; Sullo et al., 1998; Williams et al., 1992). Os participantes apresentaram maior velocidade e/ ou potência, e/ou maior tempo de exercício até exaustão. Esses resultados já eram esperados, conforme demonstrado em estudo prévio (Sherman & Costill, 1984), que demonstrou através de uma versão modificada (redução progressiva de exercícios e aumento do consumo de carboidratos em 72h antes do evento esportivo), porém próxima ao modelo clássico de carregamento de carboidrato (utilizados nesta revisão), que é possível o aumento dos estoques de glicogênio para promover a melhora ou manutenção do desempenho da atividade de endurance. Considerou-se, nesse sentido, que essa prática é tão eficiente quanto o modelo clássico.

Analisando os estudos, não foi apresentada nenhuma referência sobre limites máximos de consumo de g/CHO/dia e possíveis riscos para saúde ou ao desempenho dos atletas. As recomendações apenas se referem ao consumo mínimas para desempenho (ACSM, 2016; Hernandez et al., 2009) e não foi localizado estudos que analise ou apresente hipótese sobre altos consumos de carboidratos e seus prejuízos para praticantes de endurance (Hargraves et al., 1995). O *Institute of Medicine* (IOM; 2005) apresenta a recomendação nutricional (RDA) de carboidratos mínima por dia de 130 g para adultos e crianças, baseado na quantidade mínima de glicose utilizada pelo cérebro. O IOM (2005) ainda relata uma série de efeitos associados pelo o consumo excessivo de carboidratos (como hiperatividade em crianças, cárie dental, elevação dos níveis sanguíneos de triglicerídeos, alterações no colesterol, aumento do risco de doenças cardiovasculares, diabetes tipo 2, obesidade e de câncer de pulmão, mama, próstata e de cólon), não existem evidências para se estabelecer o limite máximo tolerável de ingestão de carboidratos (IOM, 2005), não sendo possível estabelecer se o consumo além do recomendado pode acarretar em prejuízo ao desempenho, riscos ou efeitos adversos para praticantes de atividades físicas.

PONTOS FORTES E LIMITAÇÕES DA REVISÃO

Este estudo apresenta pontos extremamente relevantes e importantes como a realização de pesquisa bibliográfica sistemática, tendo o critério em agrupar maior número de artigos (seleção minuciosa considerando endurance o termo genérico) e priorizando a equidade entre eles, os aspectos e análises metabólicas resultantes da prática. Apesar de ser prática utilizada há décadas, a complexidade de realizar estudos com este tipo de atleta resulta em um número baixo de estudos. Assim, existe uma necessidade de mais estudos que possibilitem a análise do carregamento e do glicogênio muscular antes, durante e após o carregamento de carboidratos em praticantes de endurance para embasar essas afirmações.

CONCLUSÃO

Os resultados da presente revisão demonstraram um efeito benéfico quanto ao consumo maior de carboidratos e o desempenho de endurance, sugerindo que a manipulação dietética na forma de carregamento de carboidratos pode ser utilizada como fator que potencialize o desempenho do atleta. Portanto, os praticantes de atividade de endurance devem consumir valores superiores a 7 g de CHO/kg/dia em sua dieta diária para manter a recuperação e manutenção do treinamento, repondo, assim, as reservas de glicogênio e garantindo a manutenção do desempenho durante a competição.

- Achten, J., Halson, S. L., Moseley, L., Rayson, M. P., Casey, A., & Jeukendrup, A. E. (2004). Higher dietary carbohydrate content during intensified running training results in better maintenance of performance and mood state. *Journal of Applied Physiology*, 96(4), 1331-1340.
- American College of Sports Medicine. (2016). Joint position statement: Nutrition and athletic performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(3), 543-568.
- Ahlgren, B., Bergstrom, J., Ekstrand, L., & Hultman, E. (1967). Muscle glycogen and muscle electrolytes during prolonged physical exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 71(2), 129-139.
- Ament, W., & Verkerk, G. (2009). Exercise and fatigue. *Sports Medicine*, 39(5), 389-422.
- Andrews, J., Sedlock, D., Flynn, G., Navalita, J. W., & Hongguang, J. I. (2003). Carbohydrate loading and supplementation in endurance-trained women runner. *Journal of Applied Physiology*, 95(2), 584-590.
- Aoki, M. S., & Seelaender, M. C. L. (1999). Suplementação lipídica para atividade de endurance. *Revista Paulista Educação Física*, 17(2), 93-103.
- Applegate, E. A. (1991). Nutritional considerations for ultraendurance performance. *International Society of Sport Nutrition*, 1(2), 118-126.
- Bergstrom, J., & Hultman, E. (1967). A study of glycogen metabolism during exercise in man. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 19, 218-228.
- Bergstrom, J., Hermansen, L., Hultman, E., & Saltin, B. (1967). Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiologica Scandinavica*, 71(2), 140-150.
- Burke, L. M., Claassen, A., Hawley, J. A., & Noakes, T. D. (1998). Carbohydrate intake during prolonged cycling minimizes effect of glycemic index of pre-exercise meal. *Journal of Applied Physiology*, 85(6), 2220-2226.
- Burke, L. M., Millet, G., & Tarnopolsky, M. A. (2017). Nutrition for distance events. *Journal of Sports Sciences*, 25(1), 29-38.
- Casey, A., Short, A. H., Curtis, S., & Greenhaff, P. L. (1996). The effect of glycogen availability on power output and the metabolic response to repeated bouts of maximal, isokinetic exercise in man. *European Journal of Applied Physiology*, 72(3), 249-255.
- Chen, Y., Wong, S. H. S., Xu, X., Hao, X., Wong, C. K., & Lam, C. W. (2007). Effect of CHO loading patterns on running performance. *International Society of Sport Nutrition*, 29(7), 598-606.
- Clark, N. (1998). *Guia de nutrição desportiva* (2ª ed.). Porto Alegre, Brasil: Artmed.
- Coyle, E. F., Coggan, A. R., Hemmert, M. K., & Ivy, J. L. (1986). Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *Journal of Applied Physiology*, 61(1), 165-172.
- Costill, D. L. (1988). Carbohydrates for exercise: Dietary demands for optimal performance. *International Society of Sport Nutrition*, 9(1), 1-18.
- Costill, D. L., Flynn, M., Michael, G., Kirwan, J. P., Hourmard, J. A., Mitchell, J. B., ... Park, S. H. (1988). Effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 20(3), 249-254.
- Deldicque, L., & Francaux, M. (2015). Recommendations for healthy nutrition in female endurance runners: An update. *Frontiers Nutrition*, 2, 17.
- Dohm, G. L., Beaker, R. T., Israel, R. G., & Tapscott, E. B. (1986). Metabolic responses to exercise after fasting. *Journal of Applied Physiology*, 61(4), 1363-1368.
- Geji, K. D., Thams, L., Hansen, M., Rokkedal-Lausch, T., Plomgaard, P., Nybo, L., ... Ortenblad, N. (2017). No superior adaptations to carbohydrate periodization in elite endurance athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49(12), 2486-2497.
- Haff, G. G., Lehmkuhl, M. J., McCoy, L. B., & Stone, M. H. (2003). Carbohydrate supplementation and resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(1), 187-196.
- Hargraves, M., McConnell, G., & Proietto, J. (1995). Influence of muscle glycogen on glycogenolysis and glucose uptake during exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 78(1), 288-292.
- Harris, M. A., Hammond, K. M., Fell, J. M., & Morton, J. P. (2018). Regulation of muscle glycogen metabolism during exercise: Implications for endurance performance and training adaptations. *Nutrients*, 10(3), 298.
- Hernandez, A. J., Nahas, R. M., Rodrigues, T., Meyer, F., Zogaid, P., Lazzoli, J. K., ... Daher, S. S. (2009). Modificações dietéticas, reposição hídrica, suplementos alimentares e drogas: Comprovação de ação ergogênica e potenciais riscos para saúde. Diretriz da Sociedade Brasileira de Medicina do Esporte – SBME. *Revista Brasileira Medicina do Esporte*, 9(2), 43-56.
- Institute of Medicine. (2005). *Dietary reference intakes: Energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids*. Washington, DC, USA: The National Academies Press. doi:10.17226/10490

- Ivy, J. L., Res, P. T., Sprague, R. C., & Widzer, M. O. (2003). Effect of a carbohydrate-Protein supplement on endurance performance during exercise of varying intensity. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 13(3), 328-395.
- Jeukendrup, E. (2011). Nutrition for endurance sports: marathon, triathlon, and road cycling. *Journal of Sports Sciences*, 29(sup1), 91-99.
- Kang, J., Robertson, R. J., Dennys, B. G., Silva, S.G., Visich, P., Suminski, R. R., ... Metz, K. F. (1995). Effect of carbohydrate ingestion subsequent to carbohydrate supercompensation on endurance performance. *International Society of Sport Nutrition*, 5(4), 329-343.
- Karlsson, J., & Saltin, B. (1971). Diet, muscle glycogen and endurance performance. *Journal of Applied Physiology*, 31(2), 203-206.
- Liebman, M., & Wilkinson, J. G. (1996). Metabolismo de carboidratos e condicionamento físico. In I. Wolinsky & Hickson, J. F. Jr., *Nutrição no exercício e no esporte*. São Paulo, SP, Brasil: Roca.
- McArdle, W., Kath, F. I., & Katch, V. L. (2011). *Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano* (7ª ed.). Rio de Janeiro, Brasil: Guanabara Koogan.
- Noakes, T. D., Lambert, E. V., Lambert, M. I., McArthur, P.S., Myburgh, K. H., & Benade, A. J. (1988). Carbohydrate ingestion and muscle glycogen depletion during marathon and ultramarathon racing. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 57(4), 482-489.
- Pochmuller, M., Schwingshackl, L., Colombani, & P. C., & Hoffmann, G. (2016). A systematic review and meta-analysis of carbohydrate benefits associated with randomized controlled competition-based performance trials. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 11, 13-27.
- Rauch, L. H. G., Rodger, I., Wilson, G. R., Belonje, J. D., Dennis, S. C., Noakes, T. D., & Hawley, J. A. (1995). The effects of carbohydrate loading on muscle glycogen content and cycling performance. *International Society of Sport Nutrition*, 5(1), 25-36.
- Sahlin, K., Tonkonogi, M., & Söderlund, K. (1988). Energy supply and muscle fatigue in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*, 162(3), 261-266.
- Saris, W. H., Antoine, J. M., Brouns, F., Fogelholm, M., Gleeson, M., Hespel, P., & Stich, V. (2003). PASSCLAIM: Physical performance and fitness. *European Journal of Nutrition*, 42(1), I50-I95.
- Sherman, W. M., & Costill, D. L. (1984). The Marathon: dietary manipulation to optimize performance. *American Journal of Sports Medicine*, 12(1), 44-51.
- Sousa, M. V., Madsen, K., Simões, H. G., Pereira, R. M. R., Negrão, C. E., Mendonça, R. Z., ... Silva, M. E. R. (2010). Effects of carbohydrate supplementation on competitive runners undergoing overload training followed by a session of intermittent exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 109(3), 507-516.
- Sullo, A., Monda, M., Brizzi, G., Meninno, V., Papa, A., Lombardi, P., & Fabbri, B. (1998). The effect of a carbohydrate loading on running performance during a 25-km treadmill time trial by level of aerobic capacity in athletes. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 2(5-6), 195-202.
- Tegtbur, U., Busse, M. W., & Braumann, K. M. (1993). Estimation of individual equilibrium between production and catabolism during exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 25(5), 620-627.
- Verhagen, A. P., Vet, H. C., Bie, R. A., Kessels, A.G., Boers, M., Bouter, L. M., & Knipschild, P. G. (1998). The Delphi list: A criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. *Journal of Clinical Epidemiology*, 51(12), 1235-1241.
- Williams, C., Brewer, J., & Walker, M. (1992). The effect of a high carbohydrate diet on running performance during a 30-km treadmill time trial. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 65(1), 18-24.