

Compostos fenólicos da maçã (*Malus domestica*) na prevenção ao estresse oxidativo na atividade física: revisão de literatura

Apple (*Malus domestica*) phenolic compounds in the prevention of oxidative stress in physical activity: literature review

Compuestos fenólicos de manzana (*Malus domestica*) en la prevención del estrés oxidativo en la actividad física: revisión de la literatura

Recebido: 26/10/2021 | Revisado: 04/11/2021 | Aceito: 11/11/2021 | Publicado: 29/11/2021

Pedro Henrique Esteves Rodrigues

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1613-5148>

Centro Universitário Geraldo Di Biase, Brasil

E-mail: pherodrigues3@gmail.com

Ícaro Bento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2697-6250>

Centro Universitário Geraldo Di Biase, Brasil

E-mail: icarobento1998@gmail.com

Monique Lau Marques

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0115-3028>

Centro Universitário de Volta Redonda-UNIFOA, Brasil

E-mail: moniquelm.laumarques@gmail.com

Victor M. R. Tebaldi

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6670-6204>

Centro Universitário Geraldo Di Biase, Brasil

E-mail: victormaxibio@yahoo.com.br

Kamila de Oliveira do Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8360-4827>

Centro Universitário Geraldo Di Biase, Brasil

E-mail: kamila.nascimento@yahoo.com.br

Tatiana de Oliveira Fulco

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1188-5791>

Centro Universitário Geraldo Di Biase, Brasil

Faculdade de Ciências Médicas de Três Rios, Brasil

E-mail: tatiana.fulco@gmail.com

Aline Cristina Teixeira Mallet

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1789-0279>

Centro Universitário Geraldo Di Biase, Brasil

E-mail: alinemallet@ugb.edu.br

Adriana Lau da Silva Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0851-5522>

Centro Universitário Geraldo Di Biase, Brasil

E-mail: adralmartins@hotmail.com

Resumo

A prática da atividade física é o meio de se trazer qualidade de vida a população, e atualmente a sociedade está cada dia mais preocupada e consciente dos benefícios trazidos para a saúde mental e física, evitando assim diversas doenças pois o corpo necessita estar em movimento. Contudo alguns estudos relatam que a atividade física tanto aeróbica quanto a anaeróbica, quando ultrapassa a capacidade de reversibilidade da célula em retornar a sua situação original, traz consequências aos músculos como o estresse oxidativo. Alguns estudos relataram que o consumo de compostos fenólicos tem evitado o estresse muscular pelo fato de serem capazes de reduzir a oxidação de compostos orgânicos durante as atividades físicas. O objetivo dessa revisão é demonstrar porque o consumo da maçã (*Malus domestica*) antes dos treinos aeróbicos e anaeróbicos evita o estresse oxidativo. Após revisão bibliográfica em artigos, livros e sites de buscas relacionados ao tema, concluiu-se que a maçã é rica em compostos fenólicos, e que uma porção de 140 g/ml de maçã possui 406,11 mg de polifenóis sendo o fruto mais indicado para a utilização na alimentação com a finalidade de evitar o estresse oxidativo muscular em comparação ao kiwi e outros frutos conforme apresentado neste trabalho e que o consumo diário de 1000 mg de polifenóis são necessários para a prevenção do estresse oxidativo.

Palavras-chave: Maçã; Compostos fenólicos; Atividade física; Estresse celular.

Abstract

The practice of physical activity is the way to bring quality of life to the population, and currently society is increasingly concerned and aware of the benefits it brings to mental and physical health, thus avoiding various diseases because the body needs to be in motion. However, some studies report that physical activity, both aerobic and anaerobic, when it exceeds the cell's capacity of reversibility to return to its original situation, brings consequences to muscles such as oxidative stress. Some studies have reported that the consumption of phenolic compounds has avoided high muscle stress and this is because they are able to reduce the oxidation of organic compounds during physical activities produced during cellular respiration. The objective of this review is to demonstrate why apple (*Malus domestica*) consumption before aerobic and anaerobic training avoids oxidative stress. After a literature review in articles, books and search sites related to the topic, it was concluded that apples are rich in phenolic compounds, and that a portion of 140 g/ml of apple has 406.11 mg of polyphenols, being the most suitable fruit for use in food in order to avoid muscular oxidative stress compared to kiwi fruit and other fruits as presented in this work and that the daily consumption of 1000 mg of polyphenols is necessary for the prevention of oxidative stress.

Keywords: Apple; Phenolic compounds; Physical activity; Cell stress.

Resumen

La práctica de la actividad física es la forma de brindar calidad de vida a la población, y la sociedad está cada vez más preocupada y consciente de los beneficios que aporta a la salud mental y física, evitando así diversas enfermedades debido a que el cuerpo necesita estar en movimiento. Sin embargo, algunos estudios informan que la actividad física, tanto aeróbica como anaeróbica, cuando excede la capacidad de reversibilidad de la célula para volver a su situación original, trae consecuencias a los músculos como el estrés oxidativo. Algunos estudios han informado que el consumo de compuestos fenólicos ha evitado un alto estrés muscular y esto se debe a que son capaces de reducir la oxidación de compuestos orgánicos durante las actividades físicas producidas durante la respiración celular. El objetivo de esta revisión es demostrar por qué el consumo de manzana (*Malus domestica*) antes del entrenamiento aeróbico y anaeróbico evita el estrés oxidativo. Luego de una revisión bibliográfica en artículos, libros y sitios de búsqueda relacionados con el tema, se concluyó que las manzanas son ricas en compuestos fenólicos, y que una porción de 140 g / ml de manzana tiene 406.11 mg de polifenoles, siendo la fruta más adecuada para su uso en alimentos con el fin de evitar el estrés oxidativo muscular en comparación con el kiwi y otras frutas como se presenta en este trabajo y que el consumo diario de 1000 mg de polifenoles es necesario para la prevención del estrés oxidativo.

Palabras clave: Manzana; Compuestos fenólicos; Actividad física; Estrés célula.

1. Introdução

A maçã é um fruto extremamente popular, de fácil acesso e cultivada praticamente por todos os países. Originária do Hemisfério Norte, apresentando inúmeras variações e espécies de fruto, diferenciando-se em relação à características físicas, sensoriais, químicas, valor nutricional e quantidade de compostos fenólicos (Feliciano et al., 2010; Echeverría et al., 2004; Juniper; Mabberley, 2006).

Fisicamente a maçã é dividida em três estruturas básicas denominadas epicarpo, mesocarpo e endocarpo onde se encontram em quantidades variadas os compostos fenólicos, sendo no epicarpo, ou seja, a casca onde estão as maiores quantidades de compostos fenólicos (Feliciano et al., 2010; Echeverría et al., 2004).

Os compostos fenólicos são antioxidantes de ação inibitória, ou seja, possuem a capacidade de restringir a oxidação de lipídeos e de outras biomoléculas através da inibição de reações oxidativas em cadeia evitando os efeitos nocivos da oxidação que ocorre nos tecidos; serão de grande importância dietética a fim de evitar ou minimizar o impacto da produção de espécies reativas de oxigênio no organismo pela prática de exercícios físicos (Babbar et al., 2011; Soares et al., 2008; Feskanich et al., 2000).

Os compostos fenólicos também conhecidos como polifenóis são subprodutos do metabolismo do fruto derivados da tirosina e fenilalanina e são classificados em: compostos não-flavonóides e flavonóides (Tsao et al., 2005).

A associação entre exercício e uma boa ingestão de nutrientes através dos alimentos, contribui para a integridade tanto física como mental do ser humano, sendo uma temática muito abordada nos tempos atuais e possuindo um grande apelo perdurável, sendo alvo de investigações e objeto de recomendação por parte da comunidade acadêmica. A literatura defende a atividade física aliada a escolha correta de alimentos como um denominador comum para a contribuição na redução de fatores de risco e mortes evitáveis decorrentes de aspectos como uma má alimentação (Pellegrinotti, 1998).

Com a evolução do campo médico e devido aos grandes avanços em uma gama de vertentes de pesquisas, consegue-se comprovar que essa ideia se tornou um fato. Porém, em contrapartida com o aumento do conhecimento, e de novas perspectivas sobre a temática, também surgem provas que o exercício físico é um dos fatores que podem acarretar estresse fisiológico (Galvão et. al., 2003).

Este estudo teve como objetivo verificar como ocorre o consumo de maçãs por praticantes de atividades físicas e quantificar a necessidade dos compostos fenólicos presentes nas maçãs a fim de preservar a homeostase celular.

2. Metodologia

Fora realizada uma revisão de literatura por meio da seleção de publicações científicas nacionais e internacionais de língua inglesa indexadas em bancos de dados como Scielo, Google Acadêmico, Pubmed e livros. As bases de dados foram consultadas entre janeiro de 2020 a março de 2021. A análise dos dados ocorreu a partir de análise documental das publicações selecionadas, estabelecendo relações entre as ideias principais dos autores e o objetivo do trabalho. A redação desta pesquisa foi realizada seguindo as Normas Brasileiras de Referência (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O espaço temporal em que estão contidos os artigos selecionados situou-se entre os anos de 1998 e 2019. As palavras-chave ou descritores utilizados para a busca dos artigos foram: lesão muscular, exercício físico, compostos fenólicos, maçã, espécies reativas de oxigênio, frutas nacionais, dietéticas. O número de artigos encontrados foram 51 (cinquenta e um), utilizando como critério para a seleção, que todos deveriam abordar de algum modo compostos fenólicos da maçã. Destes, foram excluídos 22 (vinte e dois) por não cumprirem os critérios de inclusão, se encontrar repetidos ou por não estarem acessíveis para leitura completa. Assim, o número de artigos analisados para a realização deste trabalho foram 28 (vinte e oito) artigos, sendo 18 (dezoito) em língua portuguesa e 10 (dez) em língua inglesa. Também utilizados 2 (dois) livros, 1(uma) tabela de composição de alimentos nacional e 1(um) anuário.

3. Fundamentação Teórica

3.1 O fruto maçã

A maçã, fruto da árvore macieira pertencente ao gênero *Malus*, família Rosaceae. É um fruto sensorialmente agradável possuindo inúmeras variedades, cerca de 7.500 e com 25 espécies catalogadas (Petri; Leite, 2008). Devido a esta variedade de cultivos e por ser produzida em diferentes regiões com características de composição de solo e exposição a luz solar diferentes, os cultivos passam a apresentar uma variedade de características distintas, dentre elas a composição nutricional e as características organolépticas das quais podemos citar: textura, suculência e sabor (Feliciano et. al., 2010; Echeverría et. al., 2004).

3.2 Aspectos gerais

Conhecida como a fruto do pecado original na tradição judaico-cristã é originária da Eurásia por evidências arqueológicas podendo ter iniciado seu consumo na idade do bronze originalmente silvestre sendo difundida por toda a região e por fim o mundo (Zierer, 2001).

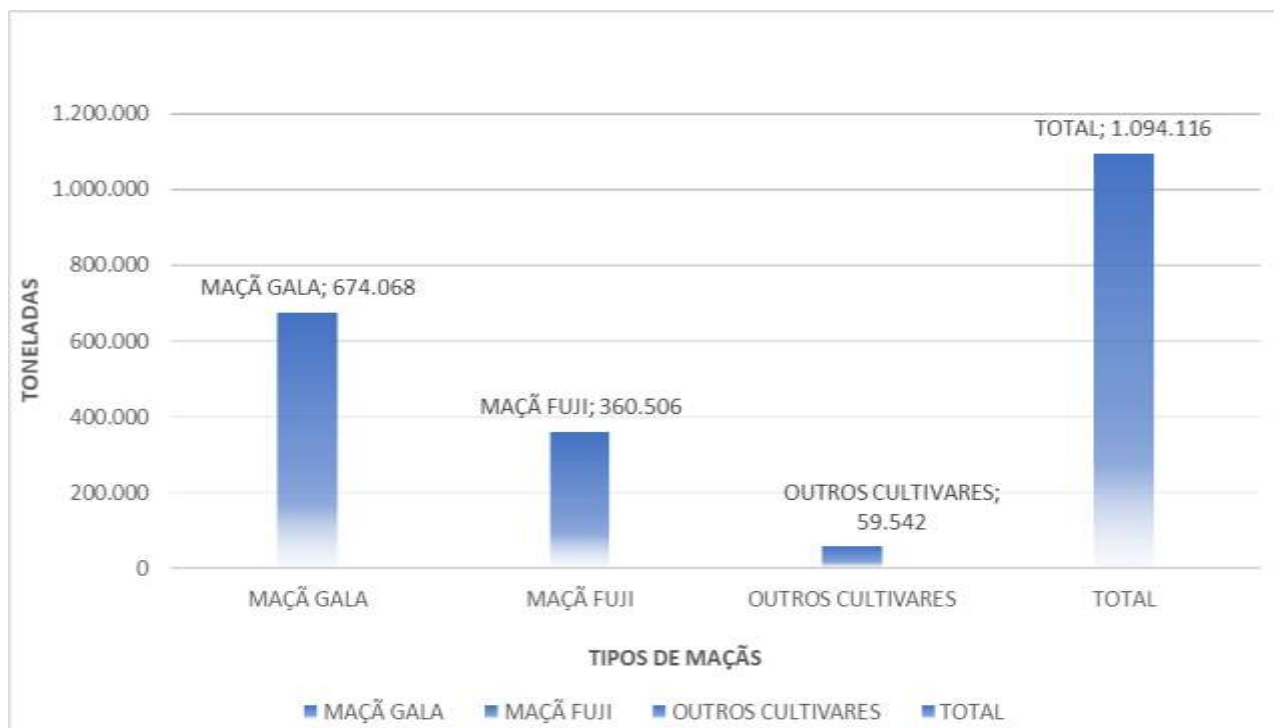
3.2.1 Cultivo nacional de *Malus*

O cultivo do fruto no Brasil tem seu ponto inicial entre o final da década de 1960 e início da década de 1970 com a introdução da pomicultura, obtendo um crescimento exponencial, o Brasil tornou-se um dos principais produtores mundiais de

Malus sendo os principais cultivares a Golden e variações, Gala e a Fuji, sendo as duas últimas variações citadas acima responsáveis por 90% da produção nacional (Nogueira et al., 2019; Epagri, 2002).

A estimativa da Associação Brasileira de Produtores de Maçã (ABPM) para a produção nacional safra 2017/2018 estava entre 1 milhão e 1,1 milhão de toneladas. Contudo, o mesmo conjuntamente ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) registrou então 1,094 milhão de toneladas na safra 2018, conforme apresentado na Figura 1 (Kist et. al., 2018).

Figura 1. Produção Brasileira de Maçã safra 2017/2018.



Fonte: Adaptado de Bernardo et. al. (2018).

3.2.2 Composição nutricional e compostos fenólicos

A maçã é um fruto rico em nutrientes considerado como um alimento funcional, é capaz de trazer muitos benefícios ao organismo se consumida. Esse fruto possui uma composição nutricional bastante diversificada e possui uma variedade de vitaminas e minerais, além de compostos antioxidantes, como apresentados no Quadro 1 (Feliciano et al., 2010).

Quadro 1. Composição Nutricional da maçã fuji.

Kcal	PTN (g)	LIP (g)	COLES.T (mg)	CHO (g)	Fibra (g)	Ca (mg)	Mg (mg)	Mn (mg)	P (mg)	Fe (mg)
56	0,3	TR	NA	15,2	1,3	2,0	2,0	0,03	9,0	0,1
Na (mg)	K (mg)	Cu (mg)	Zn (mg)	Retinol (µg)	Tiamina (mg)	Riboflavina (mg)	Piridoxina (mg)	Niacina (mg)	Vit. C (mg)	Umidade (%)
TR	75	0,06	TR	N/A	TR	TR	0,03	TR	2,4	84,3

Fonte: Adaptado de Unicamp, (2011).

Na Tabela 1, estão apresentados os compostos fenólicos presentes na maçã, classificados em: Ácidos Hidroxicinâmicos, Flavanóis, Procianidinas, Flavonóis e Chalconas e majoritariamente a Catequina, a Epicatequina, o Ácido Clorogênico, as Procianidinas B1 e B2 e a Floridizina são os compostos mais presentes no fruto (Feliciano et. al., 2010).

Tabela 1. Composição fenólica da maçã.

Classes de Compostos Fenólicos	
Ácidos hidroxicinâmicos	Ácido clorogênico
Flavanóis	Catequina Epicatequina
Procianidinas	Procianidina b1 Procianidina b2
Flavonóis	Quercetina-3- glucósido Canferol -3- glucósido Quercetina-3-ramnósido
Chalconas	Floridizina

Fonte: Adaptado de Feliciano et al., (2010).

3.2.3 Consumo da maçã

Por seu grande valor comercial e compostos bioativos, a maçã agrega valor às demais formas de consumo. Mercadologicamente, observa-se seu consumo de várias formas: fresca, seca, polpa, em doces, geleias, molhos, farinhas. Aprikian et.al., (2001), destacam a utilização da farinha proveniente do bagaço da maçã como um ingrediente que ajuda a agregar fibras em um alimento pobre nessas substâncias, melhorando assim sua composição nutricional de modo a aumentar o teor de compostos fenólicos em alimentos onde apenas seriam encontrados carboidratos e gorduras.

4. Atividade Física

A prática da atividade física desde a antiguidade é considerada como um modo de obter qualidade de vida física ou mental. De modo intuitivo, a atividade estava unida a própria sobrevivência do indivíduo. Com a evolução da sociedade e a capacidade do ser humano de modificar o meio onde habita, essa atividade intuitiva passa a não mais estar atrelada a sobrevivência, e sim apenas a qualidade de vida (Gualano; Tinucci, 2011).

A prática regular de exercício origina diversas vantagens as quais se pode citar benefícios em nível de sistema cardiovascular, de função respiratória, tônus muscular; promoção de um melhor controle metabólico, estresse e envelhecimento. Todos esses fatores sucedem em um maior rendimento no ofício e atividades cotidianas. A atividade física e o esporte estão consolidados como elementos indispensáveis na forma de vida do ser humano moderno. Porém, sabe-se que a atividade física também é um causador de estresse oxidativo. Durante o exercício físico tanto atividade aeróbia quanto anaeróbia, enfatizando a atividade aeróbica, aumentam o consumo energético do tecido muscular pelo perfil da atividade física (Pellegrinotti, 1998).

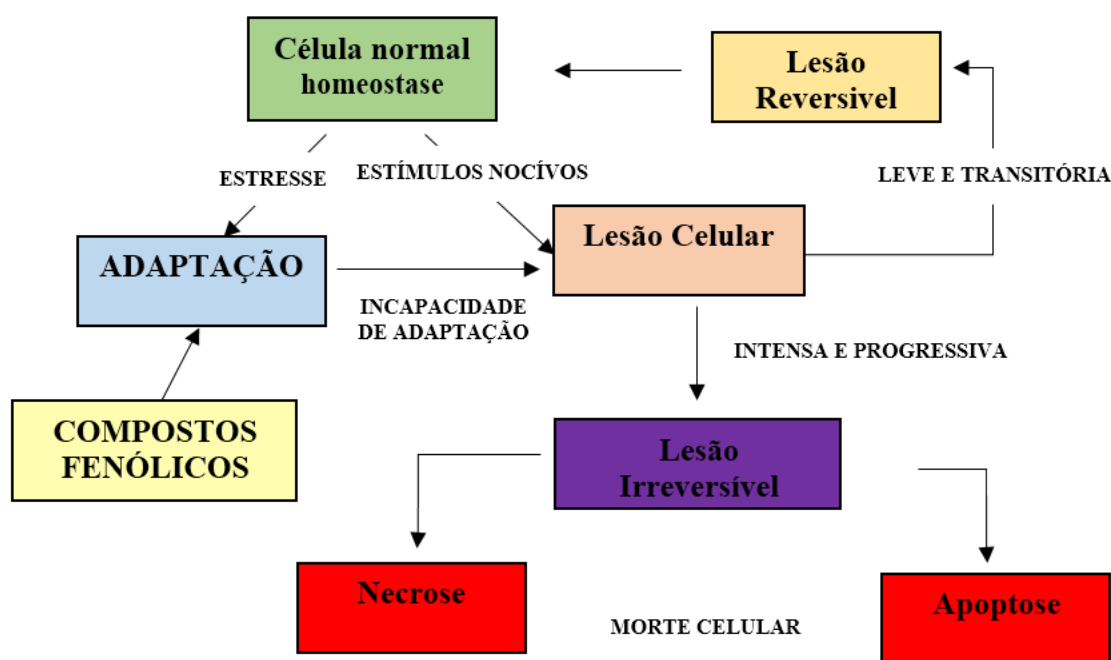
4.1 Produção de radicais livres durante a atividade física

Em situações de exposição a estresse fisiológico, as células podem desenvolver respostas estruturais e funcionais reversíveis, ou seja, ela é capaz de retornar ao seu estado natural sem ter sofrido qualquer consequência danosa quando o estímulo nocivo cessar. Tais respostas adaptativas incluem hipertrofia, hiperplasia, atrofia e metaplasia. A lesão celular se

instala quando os limites da resposta adaptativa forem ultrapassados, ou se as células forem expostas a agentes lesivos ou estresse, privadas de nutrientes essenciais ou ficarem comprometidas por mutações. A lesão celular é reversível até certo ponto, mas se os estímulos nocivos persistirem por muito tempo, a célula sofre lesão irreversível e morte celular. Os acúmulos intracelulares podem ser responsáveis por desordens metabólicas nas células e lesões crônicas (Kumar et. al., 2010).

Contudo, as desordens metabólicas oriundas ao processo de estresse oxidativo tendem a variar de um organismo para o outro, de acordo com estilo de vida, hábitos alimentares, idade e prática de atividades, ou seja, o efeito da epigenética (Silva, 2014). Na Figura 2 apresenta-se um fluxograma da resposta celular ao estresse e ao estímulo nocivo.

Figura 2. Resposta celular ao estresse e estímulos nocivos.



Fonte: Adaptado (Kumar et. al., 2010).

A respiração celular produz naturalmente radicais livres nas células, tanto em nível de membrana celular e citosol, mais precisamente em uma organela denominada mitocôndria, sendo a cadeia transportadora de elétrons durante o processo de produção de ATP a fonte endógena principal de produção desses radicais livres (Barbosa et. al., 2010).

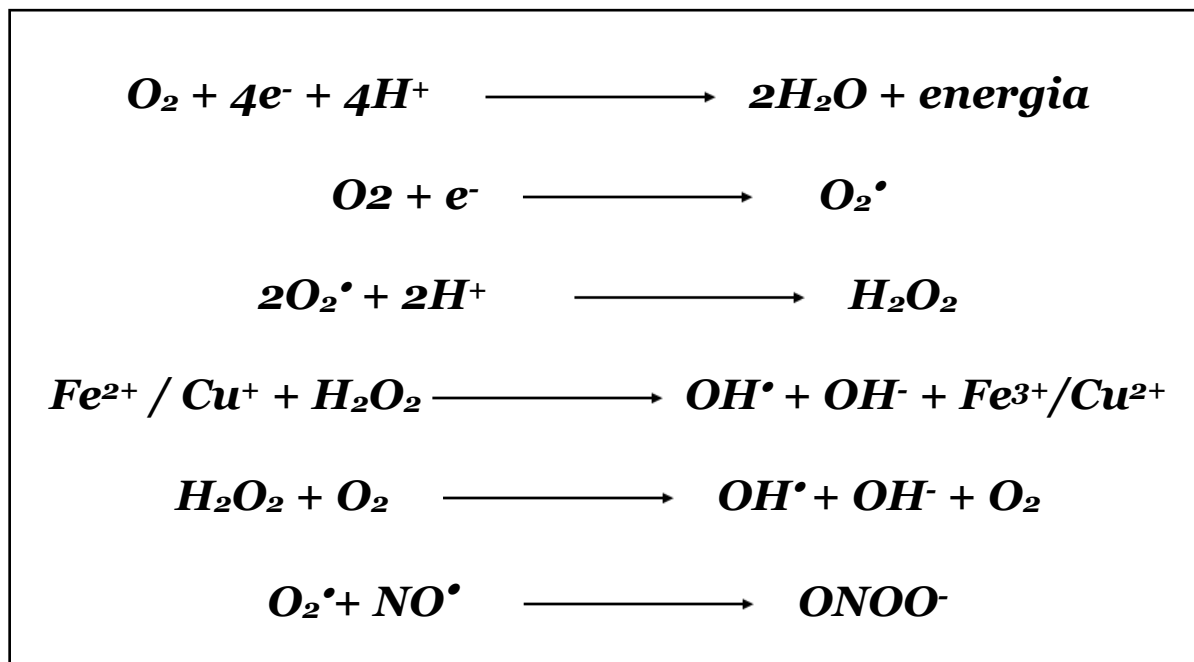
Durante a atividade física há necessidade por uma maior demanda de oxigênio, podendo o aumento no consumo de VO_2 máximo (volume de oxigênio consumido durante atividade física) alcançar um nível superior até 70% dependendo da prática de exercícios físicos (leve, moderada e extenuante) (Silva, 2014). Notório é esse consumo devido a um acentuado aumento na demanda metabólica por produção energética para a atividade, contudo mesmo a atividade sendo capaz de produzir um processo adaptativo, sinalizado por enzimas, pode ocorrer um desequilíbrio levando a uma maior concentração de espécies reativas de oxigênio (Barbosa et. al., 2010).

Na mitocôndria o oxigênio (O_2) é reduzido a uma conformação tetravalente assim possuindo um rearranjo de 4 elétrons, resultando na liberação de molécula de água pela enzima citocromo oxidase; sendo a mesma responsável pelo controle da produção de radicais livres nas mitocôndrias (Barbosa et. al., 2010).

Com a oxirredução do oxigênio ao longo da respiração celular, com a dissociação de elétrons, ocorrerá a produção de espécies reativas de oxigênio como o radical ânion superóxido ($O_2^{\bullet-}$) peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e hidroxila (OH^{\bullet}) (Valko et al., 2007, Barbosa et. al., 2010). Na presença de ferro (Fe^{+2}) e cobre (Cu^{+1}), o peróxido de hidrogênio e o oxigênio reagem

formando radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$) através das reações de Fenton e reações de Haber-Weiss (Valko et al., 2007, Barbosa et al., 2010) e também o radical ânion superóxido ($\text{O}_2^{\bullet -}$) reage com o radical óxido nítrico (NO^\bullet) assim gerando o peroxinitrito (ONOO^-), as reações de todos os elementos e radicais apresentados nesse parágrafo podem ser observadas na Figura 3.

Figura 3. Produção de espécies reativas de oxigênio no organismo humano durante atividade física.



Fonte: Adaptado de Barbosa et al., (2010).

4.2 Fatores enzimáticos contrarreguladores do estresse oxidativo

O organismo através de complexos enzimáticos é capaz de inibir ou atenuar a atividade oxidativa dos radicais livre/espécies reativas produzidos durante o exercício físico. O sistema de defesa antioxidante conta com a ação da enzima superóxido dismutase (SOD) que catalisa a conversão do radical ânion superóxido ($\text{O}_2^{\bullet -}$) em peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e também da catalase (CAT) que, catalisa a conversão de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em oxigênio (O_2) e água (H_2O). A glutatona peroxidase (GPx) por sua vez, catalisa a redução do peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em água (H_2O) (Petry et. al., 2013; Barbosa et. al., 2010). As reações mencionadas acima, foram apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2. Mecanismos enzimáticos de defesa contra os antioxidantes.

	ANTIOXIDANTE	LOCAL	AÇÃO	ALVO
ENZIMÁTICOS	SOD-Mn	Mitocôndria	Catalisa a desmutação $\text{O}_2^{\bullet -}$ em H_2O_2 e O_2	Ânion superóxido e Peroxinitrico
	SOD-CuZn	Citosol Mitocôndria	Catalisa a desmutação $\text{O}_2^{\bullet -}$ em H_2O_2 e O_2	Ânion superóxido e Peroxinitrico
	CAT	Peroxisomos Citosol Mitocôndria	Catalisa a conversão H_2O_2 em H_2O	H_2O_2
	GPx	Citosol Mitocôndria	Catalisa a redução de H_2O_2 e de hidroperóxidos orgânicos à H_2O e a álcool	H_2O_2 e Peroxinitrico

Fonte: Adaptado de Petry et. al., (2013).

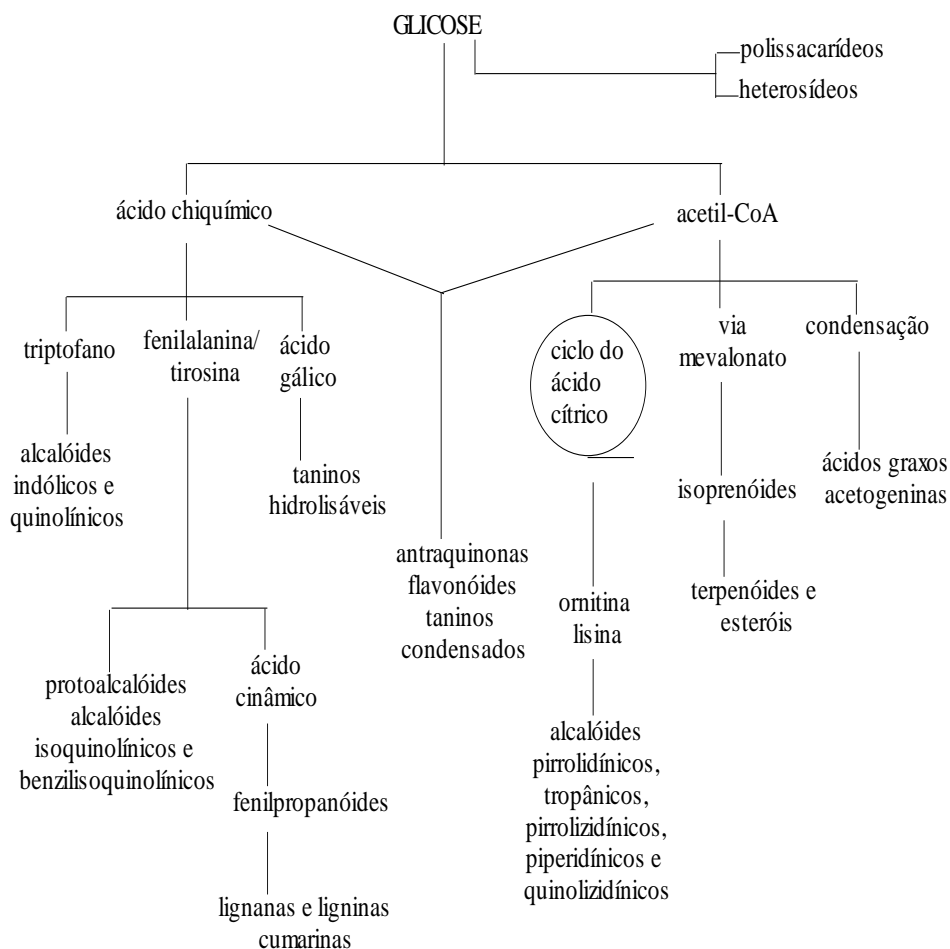
4.2.1 Fatores não enzimáticos contrarreguladores do estresse oxidativo

Os mecanismos não enzimáticos, provenientes de fonte dietética são os compostos responsáveis por evitar/ diminuir a ação oxidativa das espécies reativas produzidos durante o exercício físico. Dentre esses compostos, podemos citar vitaminas, minerais e compostos fenólicos (Petry et. al., 2013). Na maçã o Ácido Clorogênico, Epicatequina, Quercetina e Procianidina B2 são descritos como os compostos fenólicos em maiores quantidades presentes no fruto (Lee et. al., 2003). Shi e colaboradores destacam que os compostos encontrados com mais relevância na atividade antioxidante são as Quercetinas responsáveis pela não oxidação de lipídeos e DNA (Shi et. al., 2019).

Os compostos fenólicos irão interceptar os radicais livres gerados pelo metabolismo celular durante a atividade física reduzindo-os dentro das células. Doando elétrons, os compostos tornarão as espécies reativas estáveis, impedindo a sua ação sobre as estruturas celulares; lipídeos, os aminoácidos/proteínas, demais organelas e DNA; evitando a formação de lesões e perda da integridade celular (Bianchii; Antunes, 1999).

Na Figura 4 está apresentado o metabolismo do pseudofruto e seu ciclo biossintético dos metabólitos secundários, o qual cita os compostos fenólicos (Simões et. al., 2004).

Figura 4. Ciclo biossintético dos metabólitos secundários.



Fonte: Adaptado de Simões et. al., (2004).

4.2.2 Quercetina, composto isolado encontrado na maçã

A quercetina, é o composto fenólico mais consumido na dieta humana, presente em cerca de 95% do total dos polifenóis ingeridos. A cebola, maçã e brócolis são as fontes majoritárias da quercetina. Behling et. al. (2004) descrevem que dentre os frutos analisados, na maçã foi encontrada a maior quantidade, cerca de 21 e 72 mg/kg.

Quando comercializado isoladamente o composto gera grande interesse pela sua capacidade antioxidante, hepatoprotetora e cardioprotetora. A quercetina tem a capacidade de inibir o processo de formação de radicais livres em 3 etapas diferentes, sendo na inicial (pela interação com íons superóxido), na formação dos radicais hidroxil (quelação de íons de ferro) e na peroxidação lipídica, gerando maior capacidade física (Behling et. al., 2004).

4.3 Mecanismo fisiopatológico – lesão celular

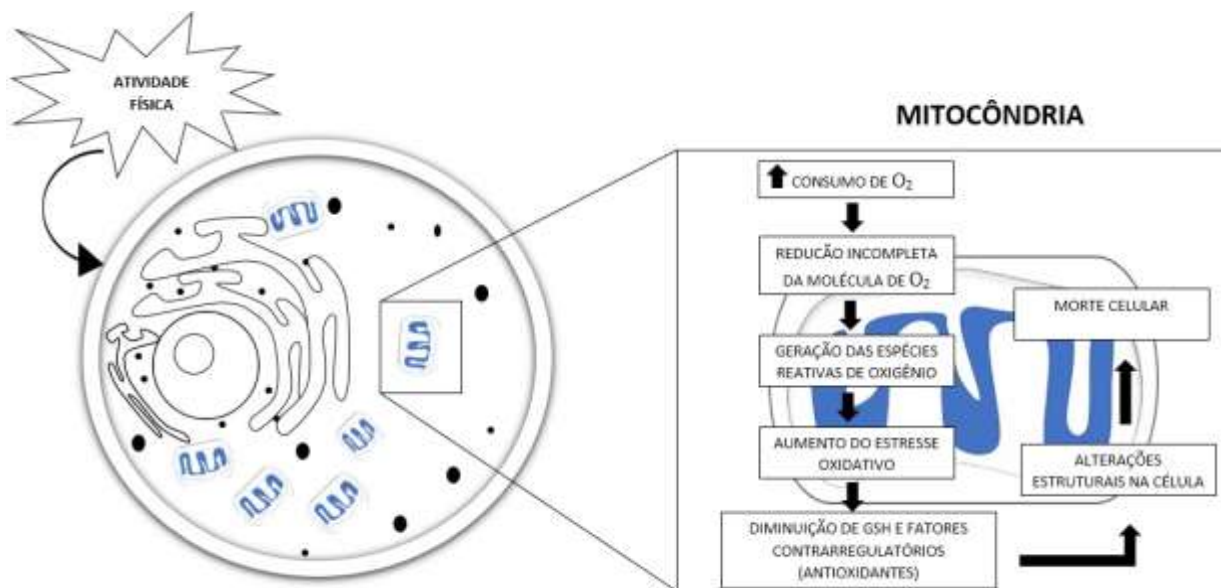
A contração muscular é dependente de sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}) e Adenosina Trifosfato (ATP). A presença da acetilcolina nas fibras musculares através da junção pós-neuronal, provocará um fluxo de íons sódio (Na^+) para dentro das fibras musculares, e quando a entrada de íons de sódio na célula excede a saída de íons de potássio (K^+), inicia o potencial de ação. Dessa forma ocorrerá a despolarização da membrana da fibra muscular e no retículo sarcoplasmático ocorrerá a liberação de elevada quantidade de íons cálcio na miofibrila, onde ocorre o processo lesivo. A lesão das células musculares ocasionada por um dos multifatores, sejam elas drogas, toxinas, traumas, atividade muscular excessiva, altas temperaturas, desidratação, infecção dentre outras causas gerará alteração na homeostasia do cálcio e à depleção de ATP ocasionando o esgotamento pela lesão que gera contrações contínuas e irregulares. (Rosa et. al., 2005; Botton et. al., 2011).

Após esse evento a célula será acometida por estresse oxidativo devido a atividade das enzimas: superóxido dismutase, catalase e glutatona peroxidase, por não ser eficiente em diminuir o potencial altamente nocivo das espécies reativas de oxigênio gerando perda de função mitocondrial. O acúmulo Ca^{2+} irá interagir com as proteínas contráteis, actina e a miosina, culminando na ativação de enzimas de degradação como fosfolipases e proteases, que degradam o tecido muscular (Rosa et al., 2005; Botton et al., 2011).

A degeneração levará a liberar grandes quantidades de diversas substâncias que se encontram alocadas no meio intracelular dentre elas o potássio, mioglobina, creatinofosfoquinase, lactato desidrogenase, ácido úrico e glutatona que são extravasados para a corrente sanguínea. Logo após o restabelecimento da perfusão sanguínea, os níveis de oxigênio retornarão, e a presença de oxigênio ocasionará aumento da lesão por libertação de citocinas e radicais livres por leucócitos ativados devido ao processo inflamatório. (Lopes; Da Costa, 2013).

As espécies reativas de oxigênio (EROs) ocasionarão disfunção celular, incapacitando captação de glicose pela célula, irá alterar o metabolismo mitocondrial, transcrição gênica e também edema muscular (Amorim; Tarapegui, 2008). Assim, a célula perderá sua integridade, extravasando seu conteúdo para o meio extracelular, causando hipercalcemia, hiperfosfatemia, hiperuricemia, elevação da creatinofosfoquinase e levando ao aparecimento de mioglobina no plasma, urina e por fim a morte celular (Martinez; Alvarez-Mon, 1999; Lopes; Da Costa, 2013). A geração de espécie reativas do oxigênio podem ser resumidas através da Figura 5.

Figura 5. Efeitos patogênicos e geração de espécies reativas de oxigênio.



Fonte: Adaptado de Kumar et. al. (2010).

5. Discussão

A maçã no Brasil é um dos frutos com mais disponibilidade a população tanto por fatores econômicos quanto produtivos, devido ao país ser um dos maiores produtores mundiais. Ao analisar o Quadro 3, a maçã se mostrou um fruto com grande potencial fenólico sendo que em 1 porção de 140 g / 1 unidade média, possui cerca de 406,11 mg de compostos fenólicos; sendo uma das frutas com o maior percentual em polifenóis frente a outros frutos e alimentos consumidos pelos brasileiros (Furlan; Rodrigues, 2016).

Quadro 3. Quantificação em miligramas de polifenóis da maçã em comparação com outras frutas do cardápio nacional.

Alimentos	Medida	Porção (g / ml)	Quantidade de polifenóis (mg)
Maçã	1 unidade	140	406,11
Kiwi	1 unidade	75	294,56
Chocolate amargo	1 unidade	35	7,36
Banana	½ unidade	40	13,44
Morango	3 unidades	60	79,26
Café	1 xícara de chá	200	60,0

Fonte: Adaptado (Furlan; Rodrigues, 2016).

Bernardes et. al., (2011) demonstraram que em 100 g de maçã há uma maior concentração de fenóis totais na casca cerca de 328,55 mg em comparação com a polpa 212,94 mg. Já a sua atividade antioxidante em percentual na casca é de 92,74 % e na polpa de 88,30%, demonstrado através da análise da variância ANOVA e teste de média Tukey.

O consumo diário recomendado é de 1000 mg de compostos fenólicos por dia para alcançar a efetividade desejada de combater ou minimizar o estresse oxidativo (Furlan; Rodrigues, 2016).

O exercício físico demanda uma grande quantidade de oxigênio (O₂) e conseqüentemente um maior aporte de nutrientes tanto em termos de macronutrientes quanto micronutrientes. A demanda metabólica gera estresse oxidativo, processo esse natural, mas exacerbado pela atividade física (Faller; Fialho, 2009; Claro et. al., 2007).

Mesmo com a disseminação de informação ainda há muitos desportistas que não possuem conhecimento nutricional adequado e não consomem quantidades corretas de nutrientes (Faller; Fialho, 2009). O consumo de frutas e hortaliças no Brasil ainda está muito aquém do recomendado pela Food and Agriculture Organization (FAO). O consumo médio recomendado pela FAO é de 400g ao dia ou em torno de 5 (porções de frutos e vegetais diários (Faller; Fialho, 2009).

A maçã é um dos alimentos que mais apresentam compostos fenólicos, porém o Brasil é um país continental e as regionalidades devem ser exploradas para que uma alimentação de qualidade seja ofertada, mesmo à parcela da população que não possui grande poder aquisitivo, a fim de atender as expectativas do Guia Alimentar da População Brasileira (Claro et al., 2007).

6. Considerações Finais

O estresse oxidativo se dá devido a um desequilíbrio entre os fatores enzimáticos e antioxidantes a nível celular. Através da ingestão de alimentos ricos em fonte de compostos fenólicos modular o estresse oxidativo pode ser atenuado. A maçã é um dos principais frutos onde podemos esses compostos e seu consumo é extremamente benéfico para a saúde. Também no meio esportivo profissional quanto no amador a introdução da maçã na dieta seria de grande valia para que a prática da atividade física seja realizada de modo seguro para que o desempenho do atleta não seja afetado pela produção em excesso de espécies reativas de oxigênio decorrente de uma grande demanda metabólica por respiração celular durante a produção de energia.

Referências

- ABPM. Associação Brasileira de Produtores de Maçã. Dados estatísticos sobre a cultura da macieira. <<http://www.abpm.org.br>
- Aprikian, O., Levrat-Verny, M. A., Besson, C., Busserolles, J., Révész, C. & Demigné, C. (2001). Apple favourably affects parameters of cholesterol metabolism and of anti-oxidative protection in cholesterol-fed rats. *Food Chemistry*, Elsevier. 75 (4), 445-452.
- Babbar, N., Oberoi, H. S., Uppal, D. S. & Patil, R. T. (2011). Total phenolic content and antioxidant capacity of extracts obtained from six important fruit residues. *Food Research International*. 44, 391-396.
- Barbosa, K. B. F., Costa, N. M. B., Alfenas, R. C. G., Paula, S. O., Minim, V. P. R. & Bressan, J. (2010). Estresse oxidativo: conceito, implicações e fatores modulatórios. *Rev. Nutr. Campinas*, 23 (4), 629-643.
- Behling, E. B., Sendão, M. C., Francescato, H. D. C., Antunes, L. M. G. & Bianchi, M. L. P. (2004). Flavonóide quercetina: aspectos gerais e ações biológicas. *Alimentos e Nutrição*, 15 (3), 285-292.
- Bernardes, N. R., Talma, S. V., Sampaio, S. H., Nunes, C. R., Almeida, J. A. R. & Oliveira, D. B. (2011). Atividade antioxidante e fenóis totais de frutas de Campos dos Goytacazes, RJ. *Revista Perspectivas online* 1, 53-59.
- Bianchi, M. L. P. & Antunes, L. M. G. (1999). Radicais livres e os principais antioxidantes da dieta. *Rev. Nutr.*, 12 (2), 123-130.
- Botton, B., Schmitt, E. U., Bastos, K. S., Godoy, D. M. & Campos, B. T. (2011). Relato de caso de rhabdomiólise em um praticante de esportes radicais rapel e trekking, uma emergência a ser reconhecida. *Arquivos Catarinenses de Medicina*. 40(3). <http://www.acm.org.br/revista/pdf/artigos/886.pdf>.
- Claro, R. M., Carmo, H. C. E., Machado, F. M. S. & Monteiro, C. A. (2007). Renda, preço dos alimentos e participação de frutas e hortaliças na dieta. *Rev. Saúde Pública*, 41(4), 557-564.
- Echeverría, G., Funes, T., Graell, J., Lara, I. & López, M. L. (2004). Aroma volatile compounds of "Fuji" apples in relation to harvest date and cold storage technology. A comparison of two seasons. *Postharvest Biology and Technology*. 32(1), 29-44.
- Epagri (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina). (2002). A cultura da Macieira. Anais XVI Enfrute, (2a ed.),743.
- Faller, A. L. K., & Fialho, E. (2009). Disponibilidade de polifenóis em frutas e hortaliças consumidas no Brasil. *Rev. Saúde Pública*. 43(2), 211-218.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistical Databases. In: Toda Fruta.
- Feliciano, R. P., Antunes, C., Ramos, A., Serra, A. T., Figueira, M. E., Duarte, C. M. M., Carvalho, A. & Bronze, M. R. (2010). Characterization of traditional and exotic apple varieties from Portugal. Part 1 - Nutritional, phytochemical and sensory evaluation. *Journal of Functional Foods*, Ed.2, 35-45.
- Feskanich, D., Ziegler, R., Michaud, D., Giovannucci, E., Speizer, F., Willett, W., & Colditz, A. (2000). Prospective study of fruit and vegetable consumption and risk of lung cancer among men and women. *Journal of the National Cancer Institute*. 92, 1812-1823.

- Furlan, A. S. & Rodrigues, L. (2016). Consumo de polifenóis e sua associação com conhecimento nutricional e atividade física. *Rev. Bras. Med. Esporte*, 22(6), 461-464.
- Galvão, J., Gusmão, L., & Possante, M. (2003). Insuficiência renal e rabdomiólise induzidas por esforço físico – artigo de revisão. *RevPortNefrolHipert.* 17(4), 189-97. <<http://www.luzimarteixeira.com.br/wp-content/uploads/2011/04/rabdomiolise-e-exercicios.pdf>>.
- Guyton, A. C. & Hall, J. E. (2002). Tratado De Fisiologia Médica. (10a ed.), Guanabara Koogan.
- Gualano, B. & Tinucci, T. (2011). Sedentarismo, exercício físico e doenças crônicas. *Rev. bras. Educ. Fís. Esporte.* 25 (spe). <https://doi.org/10.1590/S1807-55092011000500005>
- Juniper, B., & Maberley, D. (2006). The Story of the apple. Portland: Timber Press Inc., 219 p.
- Kist, B. B. (2018). Anuário Brasileiro da Maçã. content/uploads/2018/06/Anuario_maca_2018.pdf.
- Kumar, V., Abbas, A. K., Fausto, N. & Mitchell, R. N. (2010). Robbins Bases patológicas das doenças. (8a ed.), Elsevier.
- Lee, K. W., Kim, Y. J., Lee, H. J. & Lee, C. Y. (2003). Major Phenolics in Apple and Their Contribution to the Total Antioxidant Capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 51(22), p.6516-6520.
- Lopes, C. G. & Da costa, P. L. (2013). Rabdomiólise induzida pelo exercício: biomarcadores, macanismos fisiopatológicos e possibilidades terapêuticas. *Revista HUPE*, RJ, 4, 59-65. <http://revista.hupe.uerj.br/detalhe_artigo.asp?id=444>.
- Martinez, A. C. & Alvarez-Mon, M. O sistema imunológico (I): Conceitos gerais, adaptação ao exercício físico e implicações clínicas. (1999). *Ver BrasMed Esporte*, 5(3).
- Nogueira, A., Zardo, D. M., KvitschaL, M. V., Couto, M., Zielinski, A. A. F. & Alberti, A. (2019). Diversificação de negócios na propriedade frutícola: processamento de maçã. *Brazilian Journal of Development*, 5 (10), 18734-18742.
- Nunes, S. (2014). Associação Entre Exercício Físico e Produção de Espécies Reativas de Oxigênio. *Revista Brasileira de Fisiologia do Exercício.* 13 (2).
- Pellegrinotti, I. L. (1998). A Atividade Física e Esporte: A importância no Contexto Saúde do Ser Humano. *Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde.* 3(1), 22–28. <<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/RBAFS/article/view/1067>>.
- Petry, É. R., Alvarenga, M. L., Cruzat, V. F. & Toledo, J. O. T. (2013). Suplementações nutricionais e estresse oxidativo: implicações na atividade física e no esporte. *Rev. Bras. Ciênc. Esporte*, 35(4), 1071-1092.
- Rosa, N. G., Silva, G., Teixeira, A., Rodrigues, F. & Araújo, J. A. (2005). Rabdomiólise – artigo de revisão. *Acta Méd Port.* 18, 271-82.
- Shi, G. J., Li, Y., Cao, Q. H., Wu, H. X., Tang, X. Y., Gao, X. H., Yu, J. Q., Chen, Z. & Yang, Y. (2019). In vitro and in vivo evidence that quercetin protects against diabetes and its complications: A systematic review of the literature. *Biomedicine & Pharmacotherapy.* 109, 1085-1099.
- Simões, C. M. O., SchenkeL, E. P., Gosman, G., Mello, J. C. P., Mentz, L. A. & Petrovick, P. R. (2004). Farmacognosia: da planta ao medicamento. (5a ed.) UFSC, 1102 p.
- Soares, M., Werter, L., Gonzaga, L., Lima, A., Mancini-Filho, J. & Fett, R. (2008). Avaliação da atividade antioxidante e identificação dos ácidos fenólicos presentes no bagaço de maçã cv. Gala. *Ciências e Tecnologia de Alimentos*, Campinas.
- Tabela brasileira de composição de alimentos / NEPA – UNICAMP. (2011). (4a ed.), NEPA- UNICAMP. 161 p.
- Tsao, R., Yang, R., Xie, S., Sockovie, E. & Khanizadeh, S. (2005). Which polyphenolic compounds contribute to the total antioxidant activities of apple? *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 53 (12), 4989-4995.
- Valko M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T. D., Mazur, M., & Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *International Journal of Biochemistry & Cell Biology.* 39, 44-84.
- Zierer A. (2001). Significados medievais da maçã: fruto proibido, fonte do conhecimento, ilha Paradisíaca. *Mirabilia. Revista de História Antiga e Medieval*, 1. <https://raco.cat/index.php/Mirabilia/article/view/283726>