

Influência do uso de atmosfera modificada nas características físico-químicas de brócolis minimamente processados

RESUMO

A busca por alimentos minimamente processados cresce a cada dia, sendo que um dos motivos mais comuns é a busca por uma alimentação mais saudável e conveniência, visando alimentos semelhantes aos *in natura* e que contenham compostos benéficos. Após a colheita e processamento, os vegetais sofrem perda de água, elevação da taxa respiratória e aumento da produção de etileno e danos mecânicos, ocasionando a redução da vida útil do produto. A utilização de práticas como refrigeração e atmosfera modificada podem desacelerar este processo, prolongando assim a vida de prateleira. O objetivo deste trabalho foi a caracterização físico-química, de compostos fenólicos e de clorofila em brócolis minimamente processados e armazenados sob refrigeração com e sem atmosfera modificada. O teor de compostos benéficos avaliados foi menor com o uso da ATM em relação a sem ATM, no entanto o teor foi crescente ao longo do armazenamento, demonstrando que o processamento mínimo não afeta estes teores (pelo contrário, para fenólicos, que aumentou) e que a ATM auxilia na manutenção das características relacionadas ao sensorial das amostras.

PALAVRAS-CHAVE: clorofila a, clorofila b, clorofila total, compostos fenólicos.

Luzia Caroline Ramos dos Reislucacrr@hotmail.com

Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

Matheus Sagrilo Pechinamatheus_9_1@hotmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Departamento de Ciências dos Alimentos, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Simone Hickmann Flôressimone.flores@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Departamento de Ciências dos Alimentos, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Alessandro de Oliveira Riosalessandro.rios@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Departamento de Ciências dos Alimentos, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

INTRODUÇÃO

O brócolis (*Brassica oleracea*) é um vegetal com abundância de compostos que promovem a saúde, mais precisamente, apresenta quantidades importantes de glucosinolatos, compostos fenólicos, flavonoides (são compostos fenólicos), carotenoides, clorofilas, vitaminas. Tais compostos apresentam propriedades antioxidantes para eliminação de radicais livres (VALLEJO et al., 2003).

Após a colheita, os vegetais estão suscetíveis à perda de água, elevada taxa respiratória, aumento da produção de etileno e danos mecânicos, processos que podem ser intensificados por um manejo inadequado da temperatura e da umidade do ar nos locais de armazenamento e de comercialização, com redução da vida de prateleira e com aumento do custo final do produto para o consumidor (ÁLVARES et al., 2007).

Deste modo, pesquisadores têm estudado o desenvolvimento de técnicas, visando reduzir perdas pós-colheita, agregar valor aos vegetais e oferecer produtos com características ao in natura aos consumidores. Neste sentido, o processamento mínimo representa um conjunto de práticas simples e aplicáveis à maioria das frutas e hortaliças (como lavagem, corte e armazenamento), que tem como objetivos agregar valor aos vegetais (frutas e hortaliças), preservar a qualidade visual e nutricional e oferecer aos consumidores produtos frescos com maior praticidade (FONSECA et al., 1999).

Aliado ao processamento mínimo, o uso da atmosfera modificada ajuda a prolongar a vida útil de vegetais, devido a menor barreira à difusão de gases, e como consequência toleram maiores níveis de CO₂ e baixos níveis de O₂ (KADER, ZAGORY e KARBEL, 1989). Considerando os fatores acima mencionados, o intuito desta pesquisa foi analisar a composição físico-química, teor de compostos fenólicos e clorofila em brócolis (*Brassica oleracea*) minimamente processados e armazenados sob refrigeração com e sem atmosfera modificada.

MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de brócolis (12 cabeças) foram obtidas na CEASA-RS, Unidade Porto Alegre. Todas as amostras foram analisadas no Laboratório de Compostos Bioativos, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). As inflorescências foram selecionadas considerando-se a ausência de injúrias visuais e infecções, bem como a uniformidade de tamanho e cor. Na primeira etapa os brócolis foram cortados, clorados (200 ppm, 15 min) e enxaguados, em seguida, foram armazenados em bandejas de isopor (poliestireno expandido) e envolvidas por embalagens plásticas (nylon-poli multicamadas), sem ATM (Atmosfera Modificada) e com ATM (2% O₂, 5% CO₂ e 93% N₂). As amostras foram mantidas em uma câmara de refrigeração (4 °C) por 10 dias, sendo expostas à luz 12 horas por dia e analisadas nos dias 01, 04, 07 e 10 de armazenamento. Após o tempo de armazenamento as amostras foram congeladas em nitrogênio líquido, embaladas a vácuo e armazenadas em freezer até o momento das análises (compostos fenólicos e clorofilas).

A medida da textura foi realizada com penetrometro digital, da marca PCE, modelo FM 200, sendo que o resultado foi expresso em Newtons (N). Os Sólidos

Solúveis Totais (SST) foram determinados por leitura em refratômetro de Brix (Atago, PAL-1). A análise de pH foi realizada utilizando um pHmetro (Quimis, modelo Q-400A). A determinação dos teores de umidade foi realizada de acordo com método da AOAC (2000), em estufa a 105 °C até peso constante. As medições de cor foram realizadas utilizando um colorímetro portátil (Konica Minolta modelo CR 400, Singapura). Os parâmetros colorimétricos foram obtidos de acordo com a *Comission Internationale de l'Eclairage* (CIELAB sistema) e foram determinados os valores de L* (luminosidade), e das coordenadas a* (componente vermelho-verde) e b* (componente amarelo-azul).

Para análise de compostos fenólicos, foram utilizados 5 g de brócolis os quais foram homogeneizados (homogeneizador Ultra-Turrax, T25, IKA, China) com 20 mL de metanol, centrifugados durante 20 minutos a 2,500 x g numa centrífuga (Sigma, 4K 15, EUA) refrigerada a 4°C e 20 µL do sobrenadante foi misturado com 1,58 mL de água e 100 µL de reagente Folin Ciocalteau 1N. Após 3 minutos de reação, adicionou-se 300 µL Na₂CO₃ 1N, a mistura permaneceu incubada por 2h a temperatura ambiente e, posteriormente a absorbância foi lida a 765 nm em um espectrofotômetro UV-Visível (Shimadzu, UV-1800, Japão). A curva padrão foi constituída para quantificar os compostos fenólicos, utilizando-se ácido gálico na gama de concentrações 0 a 0,50 µg/mL. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico equivalentes/100g de amostra fresca (SWAIN e HILLIS, 1959).

Para determinação do teor de clorofila as amostras de brócolis (0,4 g) foram trituradas em homogeneizador Ultra-Turrax, (T25, IKA, China) juntamente com 5 mL de solução de acetona:água (80:20) e, em seguida, centrifugados a 5000 x g durante 15 minutos (Sigma, 4K 15, EUA). A clorofila foi quantificada no sobrenadante em um espectrofotômetro (Shimadzu, UV-1800, Japão), onde a leitura realizada para clorofila "a" foi de 663 nm e para clorofila "b" de 647 nm, de acordo com Lichtenthaler (1987). Os resultados foram expressos como massa de clorofila com base no peso seco (mg/100g de massa seca). Todas as análises foram feitas em triplicata.

A análise estatística foi realizada utilizando ANOVA e para diferença entre as médias foi aplicado o teste de Tukey a 5 % de significância, pelo Software Statistica 10 (Statsoft Inc, São Paulo, Brasil).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos (Tabela 1), verificou-se que para umidade, em ambos armazenamentos (com ATM e sem ATM) o teor de umidade foi maior a partir do quarto dia de armazenamento, em comparação com o 1º dia. Isso pode ser explicado pelo fato de que após o armazenamento, o tecido vegetal amolece e, conseqüentemente aumenta a água livre do alimento.

Padula *et al.* (2006) analisaram a influência de diferentes tipos de embalagens nas características físico-químicas e composição gasosa de brócolis (*Brassica oleracea* var. itálica) orgânicos minimamente processados e armazenados sob refrigeração (armazenamento a 10 °C durante 1, 3, 6, 9 e 12 dias em embalagem de polipropileno, acrílico aberto e acrílico selado). Para umidade, os autores

relataram que não houve diferença significativa durante o tempo de armazenamento e o tipo de embalagem utilizada.

Tabela 1. Composição físico-química das inflorescências de brócolis durante sua *shelf-life* (média e desvio padrão).

Amostra	Período de armazenamento			
	Dia 1	Dia 4	Dia 7	Dia 10
Umidade (%)				
Sem ATM	82,33 ± 0,24 ^{ba}	91,21 ± 0,37 ^{aA}	91,75 ± 0,19 ^{aA}	92,51 ± 0,71 ^{aA}
Com ATM	82,33 ± 0,24 ^{ba}	91,32 ± 0,25 ^{aA}	92,26 ± 0,48 ^{aA}	91,33 ± 0,49 ^{aA}
SST (°Brix)				
Sem ATM	1,60 ± 0,00 ^{aA}	1,60 ± 0,00 ^{aA}	1,50 ± 0,00 ^{ba}	1,50 ± 0,00 ^{ba}
Com ATM	1,60 ± 0,00 ^{aA}	1,50 ± 0,00 ^{bb}	1,50 ± 0,00 ^{ba}	1,50 ± 0,00 ^{ba}
pH				
Sem ATM	6,97 ± 0,00 ^{da}	7,19 ± 0,00 ^{ca}	7,23 ± 0,00 ^{bb}	7,48 ± 0,00 ^{aA}
Com ATM	6,97 ± 0,00 ^{da}	7,11 ± 0,00 ^{cb}	7,34 ± 0,00 ^{ba}	7,41 ± 0,00 ^{aB}
Textura (N)				
Sem ATM	86,15 ± 3,79 ^{aA}	76,62 ± 3,69 ^{abA}	70,92 ± 0,16 ^{bcA}	62,39 ± 1,53 ^{cb}
Com ATM	86,15 ± 3,79 ^{aA}	74,29 ± 0,97 ^{ba}	66,64 ± 3,21 ^{ba}	68,68 ± 0,98 ^{aA}

NOTA: ^{a-d} Letras minúsculas diferentes fazem referência às diferenças estatísticas entre linhas ($p < 0,05$). ^{A,B} Letras maiúsculas diferentes fazem referência às diferenças estatísticas entre colunas ($p < 0,05$).

Na análise de sólidos solúveis totais, houve uma alteração no decorrer dos dias. Para amostras sem ATM, houve uma diminuição após os dias 07 e 10. Já para as amostras com ATM, houve diminuição no teor de SST já no 4º dia de armazenamento, mantendo-se constante até o dia 10. Comparando os dias de armazenamento com ATM e sem ATM, houve diferença significativa somente no dia 4, onde o uso de ATM reduziu os SST.

Padula *et al.* (2006) concluíram que o teor SST aumentou durante o período de armazenamento em todas as amostras analisadas, confirmando um comportamento esperado, já que sua tendência é de aumento da concentração de sólidos solúveis devido a perda de água.

Fernández-León *et al.* (2013b) analisaram as condições de armazenamento em atmosfera controlada em inflorescências de brócolis (*Brassica oleracea* var. *italica*) e sua influência sobre os parâmetros de qualidade externa e compostos bioativos durante 3, 9 e 21 dias armazenados a temperatura de 1 a 2 °C com atmosfera controlada (mistura gasosa contendo 10% de O₂ e 5% de CO₂, com 85-90% de umidade relativa) e um armazenamento controle (1 a 2 °C e umidade relativa de 85-90%). O teor de SST aumentou significativamente durante o armazenamento nas amostras controle, enquanto que nas amostras com atmosfera controlada, nenhuma diferença foi observada entre 3 e 9 dias, já após

21 dias de armazenamento o teor de SST aumentou. Esse fato pode ser explicado porque os carboidratos são extensivamente metabolizados durante a vida de prateleira, devido à alta atividade respiratória e, acima de tudo, para a grande perda de água que faz com que os SST se concentrem.

Nos resultados de pH houve um aumento significativo com o período de armazenamento, tanto nas amostras com ATM quanto sem ATM. Padula *et al.* (2006), analisaram o pH em inflorescências de brócolis, e foi observado um aumento significativo ao longo do período de armazenamento, portanto os resultados destes autores estão de acordo com os encontrados neste estudo.

Para textura, observou-se que tanto no armazenamento sem ATM quanto com ATM, houve uma diminuição constante da rigidez ao passar dos dias, sendo que no último dia, as inflorescências com ATM mostraram maior rigidez comparadas com as amostras sem ATM. Padula *et al.* (2006) observaram que para as inflorescências de brócolis embaladas em embalagens de polipropileno apresentaram maior rigidez que aquelas armazenadas em embalagem de acrílico aberto e acrílico selado. No decorrer dos dias de armazenamento, as amostras embaladas em embalagens de polipropileno permaneceram estáveis, já as demais embalagens apresentaram pequenas modificações durante o tempo de armazenamento.

Menezes, Fernandes e Sabaa-Srur (2005) analisaram o pH e o teor de SST das folhas de alface lisa (*Lactuca sativa*) minimamente processadas armazenadas com ou sem ATM (embalagens plásticas de nylon poli 5 camadas: N₂ contendo 20 ppm de O₂ e no máximo 20 ppm umidade e estocadas a 4° C por 5 dias). O pH das folhas de alface situou-se entre 5-7, faixa bastante adequada para crescimento de bactérias e fungos. Observou-se uma acidificação dos produtos submetidos às duas atmosferas, porém sem diferenças significativas no valor de pH entre amostras controle e com ATM. A presença de O₂, como gás predominante dessa embalagem, tornou-se o indutor de reações enzimáticas, fazendo com que houvesse o escurecimento e redução da qualidade desse vegetal. Não houve variações significativas da concentração de SST durante o tempo de armazenamento tanto nas amostras controle quanto nas com ATM, mostrando a eficácia dos processos aplicados em relação ao crescimento de microrganismos. A análise da concentração de sólidos solúveis se faz importante uma vez que os carboidratos, que também conferem sabor doce ao vegetal, são fontes energéticas para o crescimento de microrganismos. Então, o consumo desses açúcares pelos microrganismos pode ser medido pelos graus Brix.

Fernández-Léon *et al.* (2013b) observaram que para a textura, não foram observadas diferenças estatísticas entre o brócolis fresco e nas condições de atmosfera controlada até 9 dias de armazenamento, já no dia 21 houve uma perda significativa. Em contraste, a firmeza das amostras sem atmosfera controlada diminuiu acentuadamente a partir do 3º dia de armazenamento. Essa perda da firmeza está relacionada com a desidratação do vegetal.

Os parâmetros de cor são apresentados na Tabela 2. Em relação ao parâmetro de cor L* (referente à luminosidade) das inflorescências de brócolis deste trabalho, notou-se uma diferença estatística apenas no dia 7 sem o uso de ATM. Comparando os dois armazenamentos (com ATM e sem ATM), observou-se maior cor L* após o último dia com ATM (dia 10). Para o parâmetro de cor a* (coordenada vermelho/verde) sem o uso de ATM, somente após o dia 7, houve reduções na cor

verde, por sua vez para as amostras com ATM o dia 4 apresentou maior intensidade de cor verde. Comparando os dois armazenamentos (com ATM e sem ATM), o dia 4 com ATM apresentou maior intensidade de cor a*, já para as amostras sem ATM notou-se uma maior intensidade de cor a* após o dia 10, indicando que as amostras mantiveram-se mais verdes. Referente a cor b* (coordenada amarelo/azul), as amostras sem ATM e as com ATM apresentaram menores valores no dia 7. Comparando os dois armazenamentos, as amostras sem ATM perderam a coloração já dias 4 e 7, enquanto que as amostras com ATM mostraram menor coloração somente no dia 10.

Tabela 2. Parâmetros de cor das inflorescências de brócolis durante sua *shelf-life* (média e desvio padrão).

Amostra	Período de armazenamento			
	Dia 1	Dia 4	Dia 7	Dia 10
Cor L*				
Sem ATM	44,63 ± 0,09 ^{aa}	44,66 ± 0,11 ^{aa}	43,73 ± 0,18 ^{ba}	44,96 ± 0,23 ^{ab}
Com ATM	44,63 ± 0,09 ^{abA}	43,19 ± 0,57 ^{ba}	43,05 ± 0,25 ^{abA}	46,03 ± 0,02 ^{aA}
Cor a*				
Sem ATM	-8,69 ± 0,08 ^{aa}	-8,57 ± 0,21 ^{ab}	-7,55 ± 0,23 ^{ba}	-8,81 ± 0,00 ^{aA}
Com ATM	-8,69 ± 0,08 ^{ba}	-9,21 ± 0,01 ^{aA}	-8,13 ± 0,06 ^{ca}	-8,17 ± 0,02 ^{cb}
Cor b*				
Sem ATM	16,22 ± 0,30 ^{aa}	14,85 ± 0,02 ^{bb}	12,87 ± 0,08 ^{cb}	15,18 ± 0,07 ^{ba}
Com ATM	16,22 ± 0,30 ^{aa}	16,15 ± 0,10 ^{aA}	13,74 ± 0,13 ^{ba}	13,55 ± 0,34 ^{bb}

NOTA: ^{a-c} Letras minúsculas diferentes fazem referência às diferenças estatísticas entre linhas ($p < 0,05$). ^{A,B} Letras maiúsculas diferentes fazem referência às diferenças estatísticas entre colunas ($p < 0,05$).

Padula *et al.* (2006) concluíram também que o tipo de embalagem afetou significativamente os conteúdos de clorofila 'a' e 'b' das inflorescências das amostras estudadas, sendo que as amostras acondicionadas em acrílico selado, mesmo apresentando oscilações no conteúdo de clorofila 'a', apresentaram aumento ao final do armazenamento. Já nas demais embalagens, houve reduções significativas durante o armazenamento.

Fernández-León *et al.* (2013a) analisaram a retenção da qualidade e valores funcionais de brócolis (*Brassica oleracea* var. *italica* cv. Parthenon) armazenados em embalagem de atmosfera modificada (dias 0, 3, 6, 9 e 12 e em duas condições diferentes: a primeira condição consistia em uma embalagem de ATM com plástico de polipropileno micro perfurado e a segunda foi um armazenamento controle). Os parâmetros de cor (L*, a* e b*) analisados nas inflorescências de brócolis aumentaram significativamente no final do armazenamento nas amostras controle. Este fato foi relacionado ao brócolis estar com a cor mais amarelada. Por

outro lado, nas amostras com ATM, os parâmetros de cor permaneceram significativamente semelhantes aos obtidos nas amostras frescas (dia 0).

Fernández-Léon *et al.* (2013b) concluíram que nos parâmetros de cor analisados, não houve diferenças significativas observadas para os valores de luminosidade (L^*) entre amostras controle e com atmosfera controlada, e foram significativamente mais baixas do que a encontrada para a amostra fresca. Cor a^* e b^* diminuíram após o armazenamento, obtendo reduções maiores nas amostras controle. Isto indica uma diminuição na cor verde e o aumento na cor amarela é mais elevado nas amostras controle do que em amostras com atmosfera controlada no final do armazenamento.

O teor de compostos fenólicos das inflorescências de brócolis é apresentado na Figura 1. Observou-se que após todos os dias de armazenamento, tanto as amostras sem ATM quanto as amostras com ATM, os compostos fenólicos aumentaram, sendo que o dia 10 (para ambos armazenamentos - com ATM e sem ATM) apresentou maiores concentrações. Comparando os dois armazenamentos empregados, observou-se que o uso de ATM apresentou menores quantidades de compostos fenólicos após todos os dias de armazenamento do que as inflorescências sem ATM. A alteração nos teores dos compostos fenólicos em alimentos minimamente processados é avaliada em relação ao equilíbrio dos processos que continuam acontecendo na planta. Neste caso, como não houve tratamento térmico, as enzimas biossintéticas poderiam estar ainda atuando, o que poderia aumentar os teores ao longo do armazenamento. Por outro lado, o corte das folhas pode destruir a compartimentalização de enzimas-substratos, pelo rompimento da parede celular e enzimas degradativas serem liberadas, podendo agir sobre os fenólicos, provocando a sua degradação. Desta maneira, os teores serão resultado dos processos de biossíntese e degradação (aumento ou diminuição) e dependerão do processo que estará atuando mais intensamente (HUBER *et al.*, 2008).

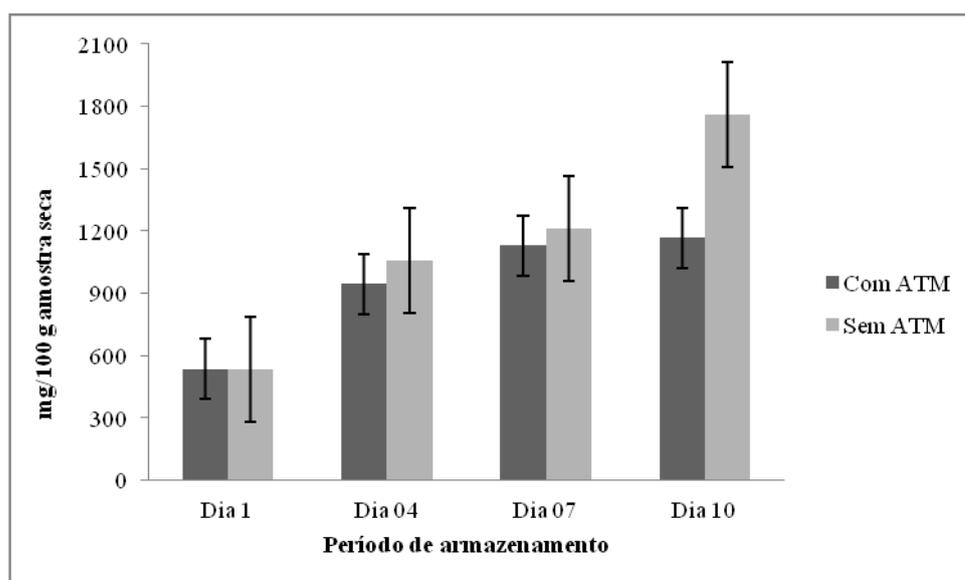


Figura 1 - Compostos fenólicos das inflorescências de brócolis após o armazenamento.

Fernández-Léon *et al.* (2013a) concluíram que durante o armazenamento a 5 ° C, os compostos fenólicos aumentaram significativamente no dia 3 em ambas amostras (controle e com ATM), em relação as amostras frescas. Esse aumento foi maior na amostra controle em relação ao tratamento com ATM, provavelmente devido à perda de peso que levou à concentração destes compostos nas células (PODSEDEK, 2007). Além disso, o aumento do conteúdo de compostos fenólicos podem ser explicados pela tensão produzida em planta, devido às lesões da colheita, pós-colheita e também ao processamento mínimo que causa lesões devido aos cortes (YANG *et al.*, 2011). Contudo, após o dia 3, tanto as amostras com ATM quanto as amostras controle, o teor de compostos fenólicos diminuiu gradativamente com o tempo de armazenamento em relação às amostras *in natura*. Também se observou que após os 12 dias de armazenamento as amostras embaladas em ATM apresentaram maiores teores de compostos fenólicos que as controle. Isso pode ser explicado pelo fato de que as amostras sem ATM aumentam a taxa de respiração e produção de etileno, tornando os compostos fenólicos mais disponíveis (KING e MORRIS, 1994; ZHUANG, HIDEBRAND e BARTH, 1995).

Fernández-Léon *et al.* (2013b) mostraram que a concentração de compostos fenólicos diminuiu durante o armazenamento, independentemente das condições aplicadas. No entanto, uma diminuição mais elevada foi observada nas amostras armazenadas sem atmosfera controlada após os 21 dias (62,53%) do que nas condições com atmosfera controlada (25,06%) em comparação com as amostras frescas.

Leja *et al.* (2001) analisaram o conteúdo de compostos fenólicos em inflorescências de brócolis (*Brassica oleracea* var. Lord) durante o armazenamento a 20 ° C durante 3 dias (dia 1 e dia 3), ou a 5 ° C durante 7 dias (dia 1, dia 3 e dia 7) sem luz e com alta umidade relativa do ar com ou sem embalagem polimérica. Observou-se um aumento considerável no conteúdo de compostos fenólicos durante o armazenamento em curto prazo de brócolis a 20 ° C, tanto nas amostras com embalagem polimérica, quanto nas amostras controle. No tratamento a 7 ° C, o teor de compostos fenólicos aumentou após 7 dias de armazenamento apenas nas amostras não embalados.

O aumento da concentração de compostos fenólicos ocorre devido a "ação antioxidante" das enzimas (superóxido dismutase, peroxidase e catalase) de sequestrar os radicais livres, assim não utilizando os compostos fenólicos. Os brócolis não estavam bem maduros quando foram colhidos, então com o tempo de estocagem houve um amadurecimento tornando os compostos mais disponíveis (LEJA *et al.*, 2001).

O teor de clorofilas 'a' (Fig. 2A), 'b' (Fig. 2B) e 'total' (Fig 2C) nas inflorescências com ATM foi aumentando gradativamente após os dias de armazenamento, sendo que o dia 10 apresentou maiores quantidades. Para as amostras sem ATM, o comportamento foi igual para clorofila 'a' e 'total', porém para clorofila 'b', observaram-se maiores concentrações após o 7º dia de armazenamento. Comparando os dois armazenamentos empregados, observou-se que o uso de ATM reteve menores quantidades de clorofilas 'a' e 'total' após o 10º dia, porém para clorofila 'b' o uso de ATM não mostrou diferenças significativas em comparação com as inflorescências sem ATM após o 10º dia de armazenamento.

Por esta razão, encontramos uma correlação entre os parâmetros de cor (a^* e b^*) e o conteúdo de clorofilas nas amostras que não foram armazenadas em ATM.

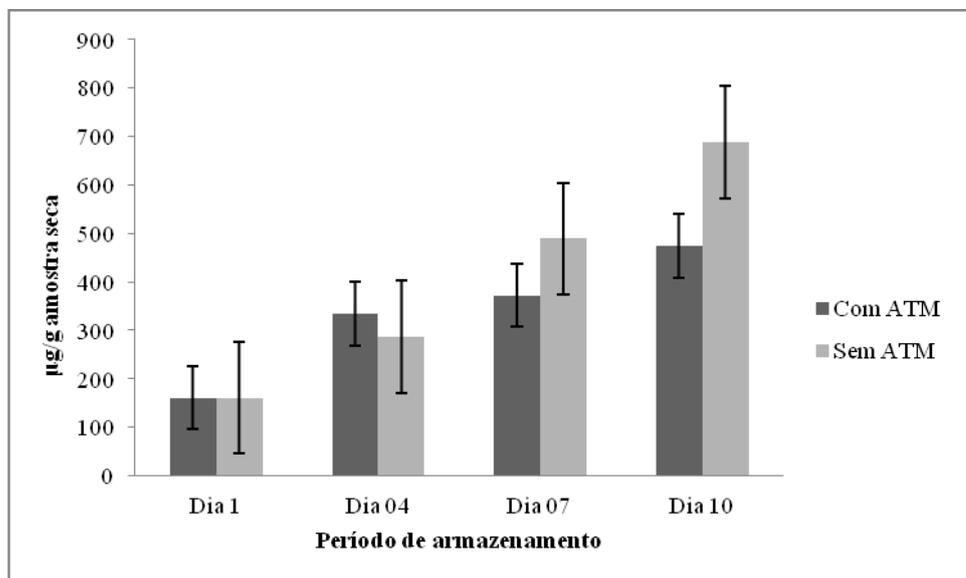


Figura 2A - Clorofila 'a' das inflorescências de brócolis após o armazenamento.

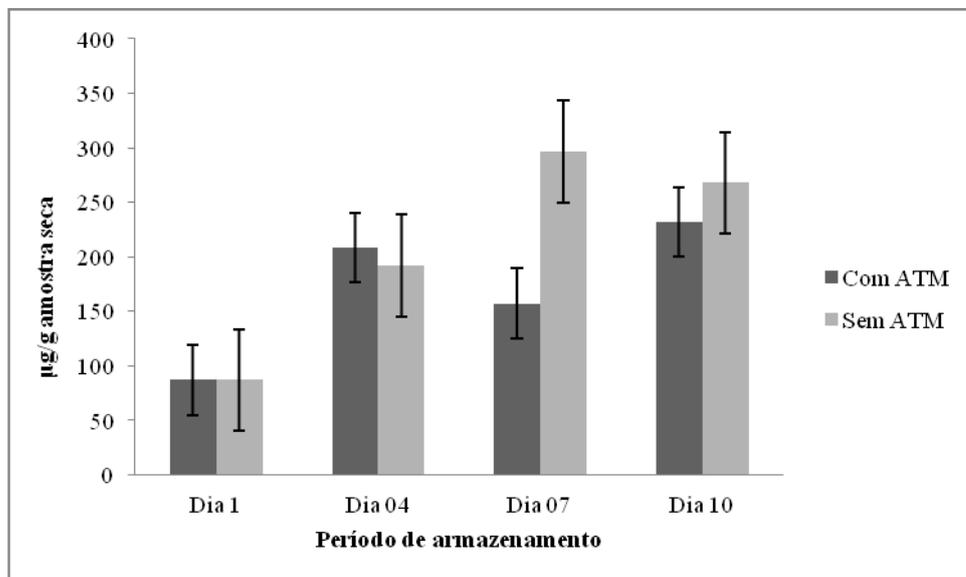


Figura 2B - Clorofila 'b' das inflorescências de brócolis após o armazenamento.

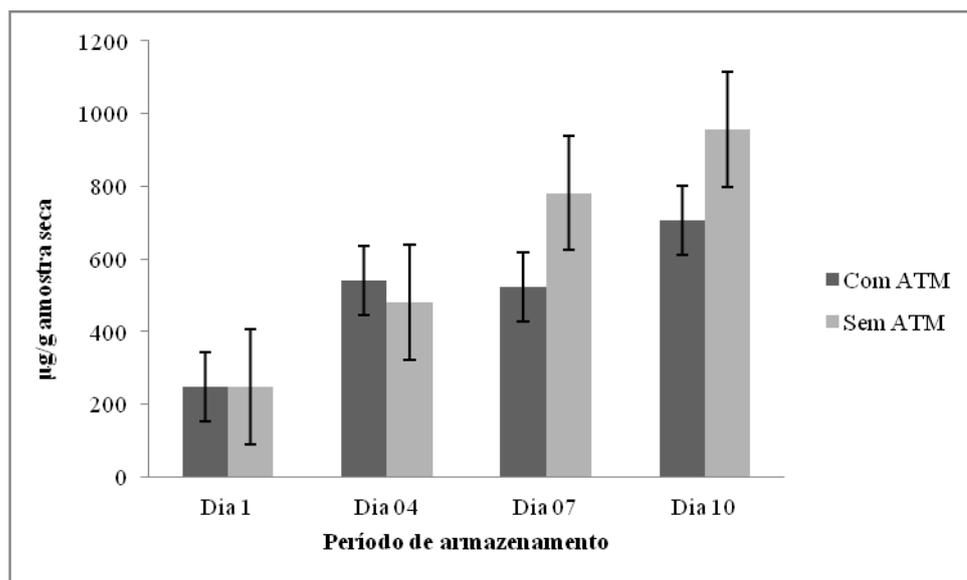


Figura 2C - Clorofila total das inflorescências de brócolis após o armazenamento.

Fernández-Léon *et al.* (2013a) observaram que o conteúdo de clorofila 'a' e 'b' diminuiu após o tempo de armazenamento tanto no armazenamento com ATM, quanto sem ATM. No entanto, após o último dia (12^o dia) as amostras embaladas com ATM apresentaram maiores concentrações de clorofila 'a' e 'b' em relação às inflorescências controle. Isso pode ser explicado pelo fato de que as amostras controle tornam-se amarelas mais rápido, uma vez que a perda de cor verde em inflorescências tem sido atribuída à degradação da clorofila. Além disso, este processo também está relacionado com a taxa de respiração, processos de peroxidação de lipídios e produção de etileno (KING e MORRIS, 1994; ZHUANG, HIDEBRAND e BARTH, 1995).

Fernández-Léon *et al.* (2013b) analisando o conteúdo de clorofilas 'a' e 'b', foi observado que tanto a clorofila 'a', quanto a clorofila 'b', o uso de atmosfera controlada preservou o conteúdo de clorofila após o armazenamento, não havendo reduções após os 21 dias. Já para as amostras controle, observaram reduções significativas conforme o tempo de armazenamento.

Jamie e Saltveit (2002) analisaram o conteúdo de clorofila em brócolis (*Brassica oleracea* var. botris) armazenados em frascos de vidro durante 7 ou 9 dias. Os frascos foram ventilados com etileno livre e gases misturados: ar normal (20,9 % O₂, 0,9 % de argônio e 78,1% N₂), atmosfera controlada com argônio (2% O₂, 8% N₂ e 90% de argônio), atmosfera controlada com hélio (2% O₂, 8% N₂ e 90 % de hélio), e atmosfera controlada de nitrogênio (2% O₂ e 98% N₂). O teor de clorofila mostrou um aumento significativo somente sob o uso de atmosfera controlada com argônio com 40 e 58% para as inflorescências de brócolis armazenadas por 7 e 9 dias, respectivamente. O argônio é um gás monoatômico e é menor em tamanho que o nitrogênio. Condições de armazenamento que melhoram a troca gasosa em frutas e vegetais reduziram o gradiente de concentração do gás entre o tecido interno e a atmosfera ambiente, favorecendo a melhoria da vida de prateleira sob atmosfera controlada, porque o tecido vegetal estaria exposto a uma concentração ótima de gases (BURG e BURG, 1965). Por este

motivo, tem alguns efeitos fisiológicos como a preservação de clorofila em brócolis, embora não parece ser através da modificação de atividade enzimática.

Tano *et al.* (2007) realizaram uma avaliação comparativa do efeito da temperatura de flutuação no armazenamento em embalagens com atmosfera modificada em brócolis (*Brassica oleracea* var. Acadi): sem ATM a 3° C; 3% O₂ e 8% CO₂ a 3° C e a 3-13° C durante 30 dias. Em relação ao peso, as amostras sem embalagem perderam um terço do peso inicial após 30 dias de armazenamento. No parâmetro de cor a*, o armazenamento com ATM a uma temperatura constante de 3° C mostrou maior retenção de cor verde e clorofila após 30 dias de armazenamento em comparação com o armazenamento controle a 3° C ou armazenamento com ATM com temperaturas variáveis entre 3 e 13° C. Uma atmosfera com redução de O₂ e/ou aumento de CO₂ reduz a taxa de respiração e a deterioração, mantendo a qualidade de frutas e vegetais frescos.

CONCLUSÃO

As amostras com ATM mantiveram os valores de textura, pH e cor L*. Já as amostras onde não foi utilizada ATM tiveram maior cor a* e b*, maior concentração de clorofilas totais e de compostos fenólicos. Para SST, não houve diferença significativa entre os tratamentos aplicados e o tempo de armazenamento.

A utilização de ATM desacelera o metabolismo do vegetal (reduz respiração), fazendo com que o vegetal mantenha suas características mais próximas as originais. Já a não utilização da ATM faz com que o vegetal mantenha sua respiração normal, com isso, aumente seu metabolismo e aumente a concentração de compostos bioativos.

Influence of modified atmosphere utilization on the physicochemical characteristics in minimally processed broccoli

ABSTRACT

The search for minimally processed foods is growing every day and one of the most common reason is the search for a more healthy diet and practice, aiming to similar fresh foods that contain beneficial compounds. The use of practices such as refrigeration and modified atmosphere can slow this process, prolonging the shelf life of foods. The objective of this work was the physicochemical characterization, phenolic compounds and chlorophyll content in broccoli minimally processed and stored under refrigeration with and without modified atmosphere. The content of beneficial compounds evaluated was lower with the use of modified atmosphere in relation to without modified atmosphere, however the content was increasing throughout the storage, demonstrating that the manimally processing does not affect these contents (on the contrary, for phenolics, which increased) and that modified atmosphere assists in the maintenance of sensorial characteristics in the samples.

KEYWORDS: chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, phenolic compounds.

REFERÊNCIAS

ÁLVARES, V. S.; FINGER, F. L.; SANTOS, R. C. A.; SILVA, J. R.; CASALI, V. W. D. Effect of pre-cooling on the postharvest of parsley leaves. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 5, n. 2, p. 31-34, 2007.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of Analysis**, 2000.

BURG, S. P.; BURG, E. A. Gas exchange in fruits. **Physiologia Plantarum**, v. 18, p. 870–884, 1965.

FERNÁNDEZ-LEÓN, M. F.; FERNÁNDEZ-LEÓN, A. M.; LOZANO, A.; AYUSO, M. C.; AMODIO, M. L.; COLELLI, G.; GONZÁLEZ-GÓMEZ, D. Retention of quality and functional values of broccoli 'Parthenon' stored in modified atmosphere packaging. **Food Control**, v. 31, p. 302-313, 2013a.

FERNÁNDEZ-LEÓN, M. F.; FERNÁNDEZ-LEÓN, A. M.; LOZANO, M.; AYUSO, M. C.; GONZÁLEZ-GÓMEZ, D. Altered commercial controlled atmosphere storage conditions for 'Parthenon' broccoli plants (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). Influence on the outer quality parameters and on the health-promoting compounds. **LWT - Food Science and Technology**, v. 50, 665-672, 2013b.

FONSECA, S. C., OLIVEIRA, F. A. R., BRECHT, J. K. & CHAU, K.V. **Development of perforation-mediated modified atmosphere packaging for fresh cut vegetables**. In: F. A. R. Oliveira, J. C. Oliveira (Eds). *Processing of foods: Quality optimisation and process assessment*. Boca Raton, USA: CRC Press, p. 389-404, 1999.

HUBER, L. S., RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Flavonóis e flavonas: fontes brasileiras e fatores que influenciam a composição em alimentos. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v.19, 2008.

JAMIE, P.; SALTVEIT, M. E. Postharvest changes in broccoli and lettuce during storage in argon, helium, and nitrogen atmospheres containing 2% oxygen. **Postharvest Biology and Technology**, v. 26, p. 113–116, 2002.

KADER, A. A.; ZAGORY, D.; KARBEL, E. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. **Food Technology**, v. 40, n. 5, p. 99-107, 1989.

KING, G. A.; MORRIS, S. C. Physiological changes of broccoli during early postharvest senescence and through the preharvest-postharvest continuum. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 119, p. 270-275, 1994.

LEJA, M.; MARECZEK, A.; STARZYNÂ SKA, A.; ROZEK, S. Antioxidant ability of broccoli flower buds during short-term storage. **Food Chemistry**, v. 72, p. 219-222, 2001.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, p. 350-382, 1987.

MENEZES, E. M. S.; FERNANDES, E. C.; SABAA-SRUR, A. U. O. Folhas de alface lisa (*Lactuca sativa*) minimamente processadas armazenadas em atmosfera modificada: análises físicas, químicas e físico-químicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, 2005.

PADULA, M. L.; CARCIOFI, B. A.; DANNENHAUER, C. E.; STRINGARI, G. B.; MONTEIRO, A. R. Influência de diferentes tipos de embalagens nas características físico-químicas e composição gasosa de brócolis (*Brassica Oleracea* var. itálica) orgânicos minimamente processados e armazenados sob refrigeração. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 17, n. 3, p. 259-268, 2006.

PODSEDEK, A. Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: a review. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, p. 1-11, 2007.

SWAIN, T.; HILLIS, W. E. The phenolic constituents of *Prunus domestica* L. The quantitative analysis of phenolic constituents. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 10, p. 63-68, 1959.

TANO, K.; OULÉ, M. K.; DOYON, G.; LENCKI, R. W. ARUL, J. Comparative evaluation of the effect of storage temperature fluctuation on modified atmosphere packages of selected fruit and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, v. 46, p. 212-221, 2007.

VALLEJO, F., TOMÁS-BARBERÁN, F. A., GONZÁLEZ, A., & GARCÍA-VIGUERA, C. Total and individual glucosinolate contents in inflorescences of eight broccoli cultivars grown under various climatic and fertilisation conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 83, p. 307-313, 2003.

YANG, Y.; WANG, J.; XING, Z.; DAI, Y.; CHEN, M. Identification of phenolics in Chinese toon and analysis of their content changes during storage. **Food Chemistry**, v. 128, p. 831-838, 2011.

ZHUANG, H.; HIDEBRAND, D. F.; BARTH, M. M. Senescence of broccoli buds is related to changes in lipid peroxidation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 43, p. 2585-2591, 1995.

Recebido: 05 mai. 2015.

Aprovado: 13 jan. 2018.

DOI: 10.3895/rebrapa.v8n3.3494

Como citar:

REIS, L. C. R. et al. Influência do uso de atmosfera modificada nas características físico-químicas de brócolis minimamente processados. **Brazilian Journal of Food Research**, Campo Mourão, v. 8, n. 3, p. 44-58, jul./set. 2017. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rebrapa>

Correspondência:

Alessandro de Oliveira Rios.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Departamento de Ciências dos Alimentos, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

