

INFLUÊNCIA DE TRATAMENTOS PÓS-COLHEITA SOBRE A ATIVIDADE ENZIMÁTICA DE ABACAXI CV. *Smooth Cayenne*

PATRÍCIA MARIA PONTES THÉ*

NEIDE BOTREL**

RAIMUNDO DE PONTES NUNES***

VÂNIA DÉA DE CARVALHO****

O presente estudo teve por objetivo determinar os efeitos da associação de tratamentos hidrotérmicos, cloreto de cálcio e atmosfera modificada sobre a atividade enzimática do abacaxi cv. *Smooth Cayenne*. Os frutos provenientes de Canápolis-MG (BRASIL) foram colhidos em estágio de maturação "de vez" e tamanho uniforme, com peso médio variando de 1,8 a 2,1 kg. Testaram-se tratamentos hidrotérmicos a temperatura de 40°C, com e sem cloreto de cálcio a 2%, nos tempos de imersão de 10, 20, 30, 40 e 50 minutos, além de armazenamento ou não em embalagens de polietileno. Após os tratamentos, procedeu-se o armazenamento refrigerado em temperatura de 8°C \pm 2 e umidade relativa de 90% \pm 3 durante 20 dias. Em seguida, os frutos foram deixados em temperatura ambiente (20°C \pm 2) e umidade relativa de 80% \pm 10 por 5 dias. Após esse período, avaliaram-se as atividades das enzimas fenilalanina amônio liase (FAL), peroxidases (PER), polifenoloxidasas (PFO), poligalacturonase (PG) e pectinametilesterase (PME). O uso da embalagem reduziu a atividade de todas as enzimas analisadas e o cálcio provocou aumento na atividade das peroxidases. Maior tempo de imersão ocasionou aumentos nas atividades das peroxidases e polifenoloxidasas.

PALAVRAS-CHAVE: TRATAMENTOS HIDROTÉRMICOS; ABACAXI; ATIVIDADE ENZIMÁTICA.

* DSc em Ciência dos Alimentos, Professora, Departamento de Farmácia, Universidade Federal do Ceará (UFC) (e-mail: patricia@ufc.br).

** DSc em Ciência dos Alimentos, Pesquisadora, Embrapa - Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro (RJ).

*** PhD em Genética e Melhoramento de Plantas, Professor, Departamento de Fitotecnia, UFC, Fortaleza (CE).

**** Doutora em Engenharia Química, Professora, Departamento de Tecnologia de Alimentos, UFC, Fortaleza.

1 INTRODUÇÃO

Segundo MORGADO, AQUINO e TERRA (2004) o Brasil é o maior produtor mundial de frutas tropicais. O abacaxizeiro constitui uma das fruteiras tropicais mais cultivadas, sendo também uma das culturas mais exigentes (GRANADA, ZAMBIASI e MENDONÇA, 2004). A produção brasileira de abacaxi em 2004 foi de 1.435.665 mil frutos em área plantada de 54.655 hectares, totalizando rendimento médio por hectare de 26.268 frutos (IBGE 2005).

A exportação de abacaxi na forma de fruta fresca exige cuidados especiais nas fases de colheita, pós-colheita e, particularmente, no transporte que deve ocorrer sob refrigeração (THÉ, 2001). Contudo, a exposição do fruto às condições de refrigeração por períodos mais prolongados pode provocar alterações em seu metabolismo. Esse tipo de desordem, conhecido por escurecimento interno, constitui um dos principais fatores que prejudicam as exportações brasileiras. Diversas pesquisas utilizando diferentes tipos de embalagens, aplicação de cálcio e cereais entre outras, têm sido realizadas com o objetivo de diminuir os prejuízos causados por esse distúrbio.

Mesmo ocupando o terceiro lugar no mercado mundial, o Brasil apresenta condições de se firmar como exportador de abacaxi em razão dos incentivos aos estudos desenvolvidos em diferentes institutos de pesquisa (GRANADA, AQUINO e TERRA 2004).

As enzimas estão entre os principais componentes que sofrem modificações durante a maturação e a refrigeração dos frutos, dentre as quais destacam-se as poligalacturonases (PG), as pectinametilesterases (PME), a fenilalanina amônio liase (FAL), as polifenoloxidasas (PFO) e as peroxidases (PER). Essas mudanças são de extrema importância, uma vez que irão influenciar a qualidade final dos produtos vegetais (THÉ et al., 2001).

O cálcio participa de forma importante da estrutura e da resistência mecânica da parede celular. O acúmulo dos cátions Ca^{2+} pode facilitar a ligação entre os polímeros de pectina, particularmente na lamela média, aumentando sua resistência (SIDDIQUI e BANGERTH, 1996). A aplicação de cálcio pode ser potencializada quando associada ao tratamento hidrotérmico, uma vez que a elevação da temperatura pode

favorecer a penetração do elemento através da epiderme do fruto (HOLLAND, 1993; LURIE e KLEIN, 1992; McCOLLUM *et al.*, 1995).

As embalagens de polietileno são muito utilizadas no acondicionamento de vários frutos, pois modificam a atmosfera, reduzindo a perda de umidade, o metabolismo respiratório e, conseqüentemente, as alterações resultantes desse processo. Tais embalagens contribuem para minimizar o escurecimento interno dos frutos de natureza enzimática oxidativa (CHITARRA e CHITARRA, 1990; OORAIKUL e STILES, 1991; PESIS, LEVI e BEM-AIRE, 1986)

O presente estudo teve por objetivo determinar os efeitos da associação de tratamentos hidrotérmicos, cloreto de cálcio e atmosfera modificada sobre a atividade enzimática do abacaxi cv. *Smooth Cayenne*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ORIGEM, COLHEITA E TRANSPORTE DOS FRUTOS

Foram utilizados abacaxis da cultivar *Smooth Cayenne* provenientes do município de Canápolis, estado de Minas Gerais (Triângulo Mineiro), situado a 550 m de altitude. Os frutos foram cultivados em solo do tipo latossolo vermelho escuro eutrófico, com adubação de fundação, na cova de 3 g de P_2O_5 por planta e durante o ciclo, 12 g de K_2O e 9 g de N_2 por planta em cobertura. Irrigou-se a lavoura de 10 em 10 dias, sendo a densidade de plantio de 40.000 plantas por hectare.

O tempo decorrido do plantio até a colheita foi de 15 meses. No momento da colheita, os pedúnculos cortados foram tratados com Benomyl a 4.000 ppm para proteção contra a podridão negra e, em seguida, acondicionados a granel em caminhão. Os abacaxis foram colhidos em estágio de maturação 2, ou seja, região basal do fruto amarela sem atingir mais de duas fileiras de olhos (GIACOMELLI, 1982) e peso médio entre 1,8 e 2,1 kg.

Os frutos foram transportados para o Laboratório de Produtos Vegetais, Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de

Lavras para a montagem do experimento.

2.2 SELEÇÃO DOS FRUTOS, TRATAMENTOS ESTUDADOS E ARMAZENAMENTO

Para compor os tratamentos foram selecionados 552 frutos sadios. Uma parcela constituída por 24 frutos uniformes foi subdividida em quatro subparcelas de seis frutos cada, visando avaliação das atividades enzimáticas logo após a colheita.

Os tratamentos estudados formaram 20 combinações fatoriais, resultantes de dois tipos de armazenamento (com e sem embalagem), dois tipos de tratamentos hidrotérmicos (com e sem cálcio) e cinco diferentes tempos de imersão (10, 20, 30, 40 e 50 minutos). Dois tipos de testemunha, (1) frutos sem embalagem e sem imersão e (2) frutos com embalagem e sem imersão representaram o Tempo 0 dos respectivos tratamentos (com e sem embalagem), totalizando 22 tratamentos. Conduziu-se o experimento em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, sendo cada unidade experimental constituída de seis frutos.

Após a aplicação dos respectivos tratamentos, os frutos foram armazenados em câmara fria a $8^{\circ}\text{C} \pm 2$ e umidade relativa de $90\% \pm 3$ durante 20 dias. Os frutos foram retirados das condições de armazenamento refrigerado e deixados em temperatura ambiente ($20^{\circ}\text{C} \pm 2$) e umidade relativa de $80\% \pm 10$ durante 5 dias. Decorrido esse período foram efetuadas as avaliações das atividades enzimáticas.

Utilizou-se termohigrógrafo para registrar a temperatura e a umidade relativa durante todo o período de armazenamento dos frutos. A água empregada na execução dos tratamentos apresentou concentração de 9,0 mg de cálcio/litro.

2.3 TIPO DE EMBALAGEM UTILIZADA

Os frutos foram acondicionados individualmente em sacos de polietileno transparentes de 0,10 mm de espessura, com dimensões de 50 x 50 cm, e selados com seladora elétrica.

2.4 AVALIAÇÕES DOS FRUTOS

2.4.1 Temperatura interna do fruto

Utilizou-se termômetro específico para medir a temperatura interna dos frutos. Foram amostrados, aleatoriamente, quatro frutos de cada tipo de tratamento, sendo realizadas quatro medidas da temperatura em diferentes pontos do fruto. Encontrou-se, desta forma, o valor médio da temperatura interna dos frutos amostrados. Descartaram-se os frutos utilizados nessa determinação por terem sido perfurados pelo termômetro.

2.4.2 Atividades enzimáticas

Os 6 frutos de cada parcela experimental foram descascados e as polpas cortadas em pedaços, obtendo-se amostra composta. As amostras foram imediatamente congeladas em nitrogênio líquido, acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas sob congelamento para as análises das atividades enzimáticas.

· Pectinametilesterase (PME)

Utilizou-se a técnica de RATNER, GOREN e MONSELISE (1969) para a extração e o doseamento. Considerou-se uma unidade de pectinametilesterase como sendo a quantidade de enzima capaz de catalisar a desmetilação de pectina correspondente a um nmol de NaOH por minuto nas condições do ensaio. A atividade enzimática por minuto, com base na massa fresca, foi expressa em $\text{nmol} \cdot \text{g}^{-1}$.

· Poligalacturonase (PG)

Realizou-se a extração segundo os métodos descritos por PRESSEY e AVANTS (1973) e JEN e ROBINSON (1984). Considerou-se uma unidade de atividade de poligalacturonase, a quantidade de enzima capaz de catalisar a formação de um nmol de grupos redutores por minuto nas condições do ensaio. Os resultados da atividade enzimática por minuto, com base na massa fresca, foram expressos em $\text{nmol} \cdot \text{g}^{-1}$.

· Peroxidase (PER)

Usou-se o método preconizado por MATSUNO e URITANI (1972) para a extração e determinação da atividade enzimática por minuto, sendo os resultados com base na massa fresca expressos em $\text{nmol} \cdot \text{g}^{-1}$.

· Polifenoloxidase (PFO)

Empregou-se o método de MATSUNO e URITANE (1972) para a extração, sendo as atividades enzimáticas por minuto, com base na massa fresca, expressas em $\text{nmol} \cdot \text{g}^{-1}$ conforme TEISSON (1979).

· Fenilalanina amônio liase (FAL)

Utilizou-se a técnica de RHODES e WOOLTORTON (1971) para a extração. As atividades enzimáticas foram expressas em unidades definidas como a quantidade de enzima que produz aumento na absorção a 290 nm de 0,001 por minuto (ZUCKER, 1965).

2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados das atividades das enzimas pectinametilesterase, poligalacturonase, peroxidase, polifenoloxidase e fenilalanina amônio liase de cada tratamento foram avaliados segundo o esquema de análise de variância apresentado na Tabela 1, usando-se o Programa MSTATC (1989). Havendo efeito significativo entre os tratamentos e entre suas interações, as respectivas médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%.

TABELA 1 - ESQUEMA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA EXPERIMENTO FATORIAL 2 X 2 X 5, COM DOIS TRATAMENTOS ADICIONAIS, CONDUZIDO EM DELINEAMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO COM QUATRO REPETIÇÕES

CAUSA DE VARIAÇÃO	GL*
Tratamentos	(21)
Testemunhas x Fatorial	1
Entre testemunhas	1
Cálcio (C)	1
Embalagem (E)	1
C x E	1
Tempo (T)	4
C x T	4
E x T	4
C x E x T	4
Erro	66
Total	87

*Graus de liberdade.

Para a descrição das variáveis em função dos tempos de duração dos tratamentos térmicos efetuaram-se análises de regressão considerando os tempos de imersão como variável independente (x) e como variável dependente as características avaliadas cujos tempos de imersão foram significativos (teste F). Os modelos de regressão polinomiais foram selecionados com base na significância do teste F de cada modelo e pelo coeficiente de determinação (NUNES, 1998).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As enzimas pectinametilesterase (PME), poligalacturonase (PG), peroxidase (PER), polifenoloxidase (PFO) e fenilalanina amônio liase (FAL) estavam ativas no dia da colheita, apresentando atividade média de 116,25, 702,24, 34,77, 25,81 e 307,20 U•g⁻¹/min, respectivamente.

O efeito do tratamento térmico sobre a temperatura interna da polpa foi avaliado com o objetivo de verificar a influência do calor na atividade das enzimas. Na Figura 1 constam as curvas estimadas e as equações de regressão representativas das variações na temperatura interna dos frutos tratados com água e cálcio nos diferentes tempos de imersão. Para cada minuto de imersão espera-se aumento médio na temperatura interna de 0,27°C. Os coeficientes de determinação ($r^2 = 0,96$) mostraram-se semelhantes para ambos os tratamentos.

A FAL exerce papel chave na biossíntese de fenilpropanoides, sendo sua atividade afetada por fatores como luz, temperatura, reguladores de crescimento, inibidores da síntese de RNA, proteína, infecção, fermentos e nutrição mineral (JONES, 1984).

O comportamento da FAL em função do tempo de imersão é mostrado na Figura 2. A atividade enzimática dos frutos sem embalagem variou de 453,0 U•g⁻¹/min (água/sem embalagem/tempo 50 min) a 1001,0 U•g⁻¹/min (sem imersão/sem embalagem). Nos frutos embalados a variação foi de 277,1 U•g⁻¹/min (água/com embalagem/tempo 10 min) a 437,47 U•g⁻¹/min (água/com embalagem/tempo 40 min). Com relação às testemunhas, a atividade média dessa enzima nos frutos não-embalados (Tempo 0) foi superior a dos embalados. Esse tratamento representa o ambiente natural (não-modificado), demonstrando que somente o uso da embalagem já reduziu de modo significativo a atividade da FAL.

A atividade da FAL aumentou em várias espécies vegetais que sofreram injúrias pelo frio (GRAHAM e PATTERSON, 1982; PAULL e ROHRBACH, 1985). Nos estudos de VUKOMANOVIC (1988) e de ABREU (1995), abacaxis com maior índice de escurecimento apresentaram maiores teores de polifenóis e maior atividade da FAL. A atividade da FAL também pode aumentar pela ação do etileno. Nos armazenamentos sob atmosfera modificada, a menor disponibilidade de oxigênio e maior concentração de dióxido de carbono são fatores que reduzem a taxa de produção de etileno e, conseqüentemente, a atividade dessa enzima (CHITARRA e CHITARRA, 1990).

De acordo com GRAHAM e PATTERSON (1982), RHODES e WOOLTORTON (1977), PAULL e ROHRBACH (1985), a atividade da FAL aumenta em tecidos vegetais submetidos a temperaturas inferiores a 12°C. No presente trabalho, os frutos analisados no dia da colheita apresentaram atividade média de 307,20 U·g⁻¹/min e atingiram valores bem mais elevados após a refrigeração e armazenamento em temperatura ambiente. Não foi observado comportamento homogêneo nos diferentes tempos de imersão. Ocorreram diferenças significativas apenas entre alguns grupos do mesmo tratamento, verificando-se maior variação nos frutos sem embalagem.

ABREU (1995) estudou o efeito das embalagens de polietileno com e sem perfuração no grau de escurecimento interno e composição química do abacaxi cv. *Smooth Cayenne*. Os frutos embalados em polietileno sem perfuração apresentaram menor atividade da FAL, menor índice de escurecimento interno e menores teores de polifenóis que os não-embalados, ou cuja embalagem foi perfurada.

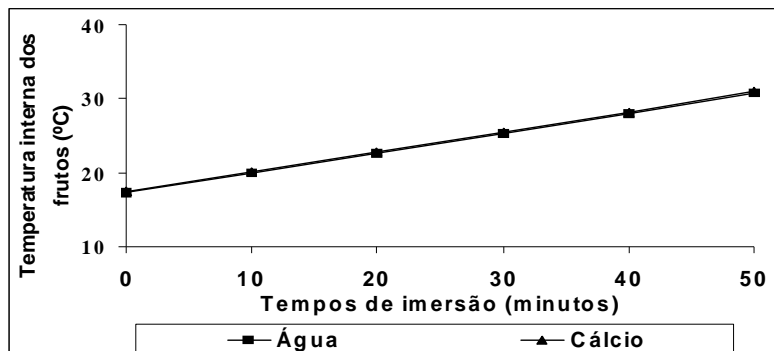
GONÇALVES (1998) estudou a aplicação de cloreto de cálcio, associada ao tratamento hidrotérmico sobre a composição química e suscetibilidade ao escurecimento interno do abacaxi cv. *Smooth Cayenne*. Detectou maior atividade da FAL nos frutos com maiores índices de escurecimento interno, não havendo associação direta com os polifenóis. Nesse mesmo trabalho, os frutos tratados com cloreto de cálcio apresentaram menor atividade da FAL que os frutos não-tratados.

A peroxidase e polifenoloxidase podem participar de reações oxidativas e de biodegradação como mudança de cor, degradação da clorofila

ou auxinas, oxidação de fenóis, oxidação do ácido indol acético e biossíntese da lignina. Muitos desses fatores também podem ser associados com o sabor e aroma, cor, textura e qualidade nutricional dos alimentos (BRUEMMER, BONGWOO e BOWEN 1976; BURNETTE, 1977). O controle da atividade dessas enzimas assume grande importância para a tecnologia de alimentos, uma vez que essas são responsáveis pelo escurecimento de frutas e vegetais e de seus produtos processados (CLEMENTE e PASTORE, 1998; PRABHA e PATWARDHAN, 1986).

FIGURA 1 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO E CURVAS REPRESENTATIVAS DOS VALORES DA TEMPERATURA INTERNA (°C), ESTIMADOS PELAS RESPECTIVAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO, DOS FRUTOS TRATADOS COM ÁGUA E CÁLCIO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE IMERSÃO

$$\text{Água} = 17,19 + 0,27X \quad r^2 = 0,96 \quad \text{Cálcio} = 17,37 + 0,27X \quad r^2 = 0,96$$



A atividade da peroxidase sofreu influência do tempo de imersão. Na Figura 3 observam-se as curvas e equações de regressões e os coeficientes de determinação múltipla da atividade da peroxidase nos diferentes tratamentos. As atividades das peroxidases foram mais elevadas nos frutos não submetidos ao tratamento térmico (Tempo 0). Regrediram no tempo de imersão de 10 minutos e aumentaram linearmente até atingir valor máximo no tempo de 50 minutos. Esses resultados indicam que a temperatura interna dos frutos enquadrava-se na faixa que induz aumento de atividade.

FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA ATIVIDADE DA FENILALANINA AMÔNIO LIASE ($U \cdot g^{-1} / MIN$) NAS DIFERENTES COMBINAÇÕES DOS TRATAMENTOS COM EMBALAGEM E CÁLCIO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE IMERSÃO

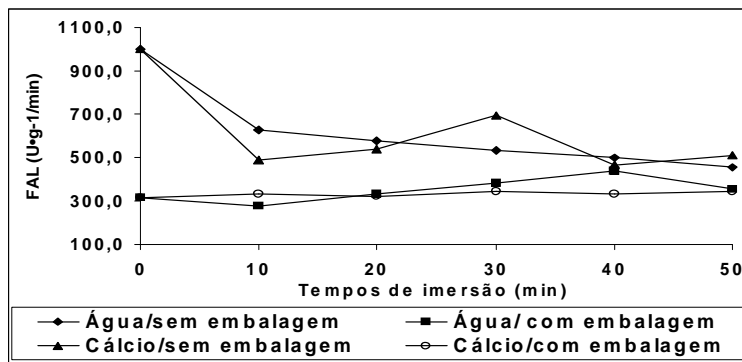
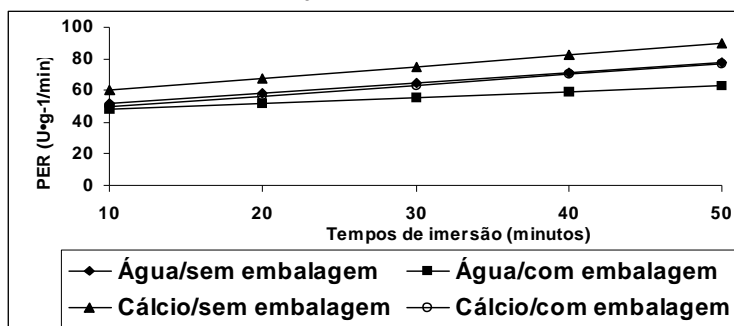


FIGURA 3 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO E CURVAS REPRESENTATIVAS DAS ATIVIDADES DAS PEROXIDASES ($U \cdot g^{-1} / MIN$), ESTIMADAS PELAS RESPECTIVAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO DOS FRUTOS TRATADOS COM ÁGUA E CÁLCIO SEM E COM EMBALAGEM EM FUNÇÃO DO TEMPO DE IMERSÃO

$$\begin{aligned}
 Y_{\text{Água/sem embalagem}} &= 45,36 + 0,6576X \quad r^2 = 0,9812 \\
 Y_{\text{Água/com embalagem}} &= 43,832 + 0,3882X \quad r^2 = 0,9495 \\
 Y_{\text{Cálcio/sem embalagem}} &= 52,796 + 0,7334X \quad r^2 = 0,9821 \\
 Y_{\text{Cálcio/com embalagem}} &= 43,057 + 0,6715X \quad r^2 = 0,9691
 \end{aligned}$$



As atividades das peroxidases também foram mais elevadas nos frutos tratados com cálcio, que nos tratamentos com água. O aumento na atividade da peroxidase induzido pelo cálcio tem sido atribuído, principalmente, a elevação das isoperoxidasas catiônicas iniciadas pela liberação de potássio (GASPAR *et al.*, 1991). A liberação da atividade da peroxidase por esse mecanismo pode ocorrer em poucos minutos após dano físico ou estresse. Os íons cálcio influenciam tanto a atividade da peroxidase como a liberação das isoenzimas.

As enzimas polifenoloxidasas (PFO), amplamente distribuídas na natureza, estão relacionadas com o escurecimento enzimático dos vegetais *in natura*. Ocasionalmente, ocasionam perda da cor dos produtos de frutas e hortaliças processados e ou congelados, diminuição do valor nutricional e modificação das propriedades sensoriais, resultando na maioria dos casos em produtos com má aparência (COSENTIG e LEE, 1987).

Os tratamentos hidrotérmicos, assim como os armazenamentos refrigerados, aumentam as atividades das polifenoloxidasas de modo geral. Nos frutos embalados, a atividade média das polifenoloxidasas (39,72%) mostrou-se inferior à dos frutos sem embalagem. Foram observadas poucas diferenças significativas entre os tratamentos com água e cálcio (sem embalagem) nos mesmos tempos de imersão. Nos frutos tratados com cálcio, a atividade da peroxidase foi mais elevada quando comparada com a dos respectivos tratamentos com água. Essa mesma tendência foi observada entre os tratamentos com embalagem (Figura 4).

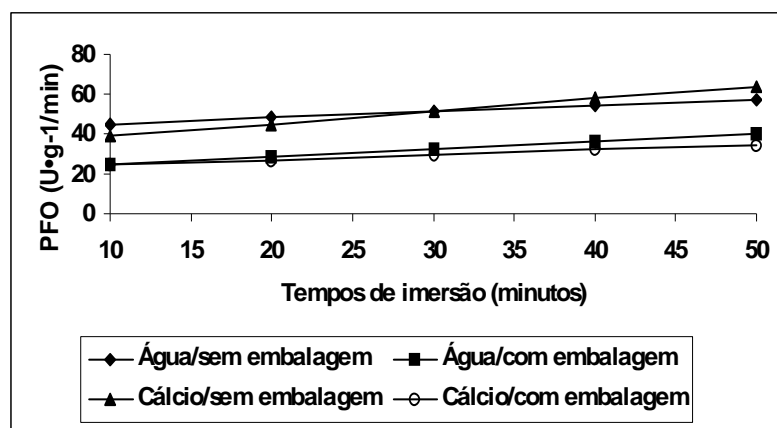
As atividades das polifenoloxidasas (PFO) variaram de 39,11 U•g⁻¹/min a 64,88 U•g⁻¹/min nos frutos sem embalagem e de 23,09 U•g⁻¹/min a 40,05 U•g⁻¹/min frutos embalados. Assim, a embalagem contribuiu de forma efetiva para a redução da atividade das PFO, independente do tempo de imersão. O uso da embalagem reduziu de modo significativo as atividades das polifenoloxidasas em todas as combinações de cálcio e tempo.

As polifenoloxidasas são enzimas que catalisam a oxidação de polifenóis, resultando na polimerização de pigmentos escuros.

Tratando-se de enzimas oxi-redutoras, sua ação depende da disponibilidade de oxigênio. Portanto, devido à menor disponibilidade de oxigênio no interior das embalagens era esperada menor atividade enzimática nos frutos embalados.

FIGURA 4 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO E CURVAS REPRESENTATIVAS DAS ATIVIDADES DAS POLIFENOLOXIDASES ($\text{U}\cdot\text{g}^{-1}/\text{MIN}$), ESTIMADAS PELAS RESPECTIVAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO, DOS FRUTOS TRATADOS COM ÁGUA E CÁLCIO SEM E COM EMBALAGEM EM FUNÇÃO DO TEMPO DE IMERSÃO

$$\begin{aligned} Y_{\text{Água/sem embalagem}} &= 42,161 + 0,3065X \quad r^2 = 0,981 \\ Y_{\text{Água/com embalagem}} &= 21,442 + 0,3672X \quad r^2 = 0,896 \\ Y_{\text{Cálcio/sem embalagem}} &= 32,406 + 0,6366X \quad r^2 = 0,997 \\ Y_{\text{Cálcio/com embalagem}} &= 22,215 + 0,2443X \quad r^2 = 0,9798 \end{aligned}$$



Da mesma forma que para as peroxidases houve diminuição nas atividades das polifenoloxidases nos frutos submetidos aos tratamentos hidrotérmicos com tempos de imersão de 10 minutos (temperatura interna média de $20,70^{\circ}\text{C}$), comparada às atividades nos frutos sem imersão. Também verificou-se aumento gradativo nas atividades com maiores tempos de imersão. Esse aumento foi menor

nos frutos embalados (Figura 4), fato que pode ser constatado pelas estimativas dos coeficientes das equações de regressão.

No tratamento água/sem embalagem, 98,1% da variação na atividade das polifenoloxidasas causada pelo tempo de imersão foram explicadas pela regressão linear, enquanto no tratamento água/com embalagem a variação foi de 89,6%. Nos tratamentos cálcio/sem embalagem e cálcio/com embalagem, os valores subiram para 99,7% e 97,9%, respectivamente. GONÇALVES (1998) também observou menor atividade da polifenoloxidase em frutos submetidos ao tratamento hidrotérmico associado com cálcio. A temperatura das soluções utilizadas nos tratamentos hidrotérmicos (água e cloreto de cálcio) foi de 40°C, porém a temperatura no interior dos frutos atingiu valor máximo de 30,9°C (tratamento com cloreto de cálcio/50 minutos). Pelos valores das atividades enzimáticas obtidos observa-se que as temperaturas mais elevadas no interior dos frutos não foram suficientes para inibir a atividade enzimática devido, provavelmente, à aproximação da temperatura ótima de atividade enzimática. WILLS *et al.* (1989) constataram que a atividade de enzimas em fruto e hortaliças declina em temperaturas acima de 30°C, porém a maioria é inativada a 40°C.

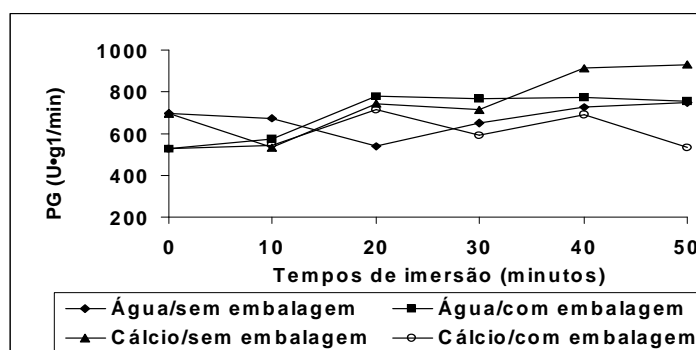
A degradação dos polissacarídeos da parede celular geralmente é acompanhada pelo aumento na atividade das hidrolases (PG e PME), responsáveis pela solubilização das pectinas. As atividades da PG em função do tempo de imersão (Figura 5) apresentaram tendência de elevação concomitantemente com o aumento do tempo de imersão. Essas atividades variaram de 929,38 U•g⁻¹/min (cálcio/sem embalagem/tempo 50 min) a 526,85 U•g⁻¹/min (sem imersão/com embalagem). No tratamento cálcio/sem embalagem houve efeito significativo relacionado com o tempo de imersão ($Y_{\text{Cálcio/sem embalagem}} = 476,52 + 9,66t$; $r^2 = 0,8746$).

O tipo de tratamento hidrotérmico (água ou cálcio) pouco interferiu na atividade da PG. GONÇALVES (1998), estudando abacaxis submetidos a tratamentos hidrotérmicos com e sem cloreto de cálcio, observou maior atividade da PG nos frutos não-tratados. HEPLER e WAYNE (1985) constataram que o cálcio, além de conferir insolubilidade ao material péctico, inibiu a atividade da PG. O pectato formado pela presença do cálcio é resistente à degradação pela PG, que atua

preferencialmente na ligação glicosídica adjacente ao grupo carboxílico não-esterificado. Ocorreram diferenças entre os tratamentos, devendo-se ressaltar que a atividade média da PG foi inferior nos frutos tratados com cálcio e embalados.

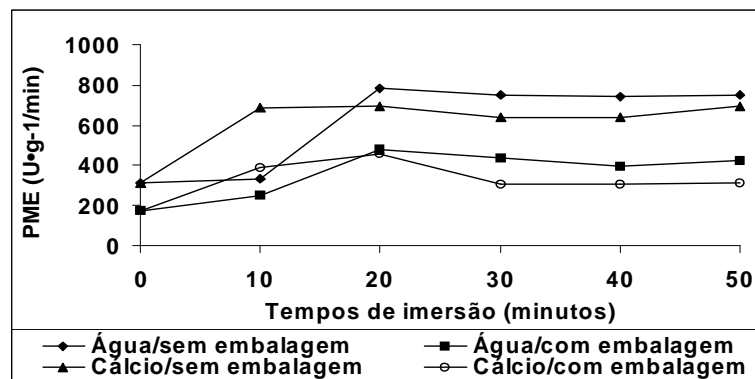
Nos frutos embalados, a atividade média das poligalacturonases foi 6,46% inferior à dos não-embalados. Em trabalho com abacaxis cv. *Smooth Cayenne* armazenados em embalagens de polietileno, ABREU (1995) verificou que os frutos acondicionados em embalagens sem perfuração apresentaram menor atividade da poligalacturonase.

FIGURA 5 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS ATIVIDADES DAS POLIGALACTURONASES ($U \cdot g^{-1} / MIN$) NAS DIFERENTES COMBINAÇÕES DOS TRATAMENTOS EMBALAGEM E CÁLCIO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE IMERSÃO



A atividade da PME nos frutos analisados no dia da colheita ($116,25 U \cdot g^{-1} / min$) foi inferior à observada após o armazenamento (variação de $174,0 U/g$ a $750,00 U \cdot g^{-1} / min$). As atividades da PME sofreram pouca influência dos tempos de imersão. Nos frutos tratados com cálcio, as atividades da PME foram em geral menores do que nos tratados com água. As menores atividades ocorreram nos frutos tratados com cálcio e embalados, comprovando a ação da embalagem na manutenção da textura dos frutos. Na Figura 6 as atividades da PME estão graficamente representadas em função do tempo de imersão.

FIGURA 6 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS ATIVIDADES DAS PECTINAMETILESTERASES ($U \cdot g^{-1} / MIN$) NAS DIFERENTES COMBINAÇÕES DOS TRATAMENTOS EMBALAGEM E CÁLCIO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE IMERSÃO



Detectou-se maior atividade média da PME nos tratamentos água/sem embalagem, mas com diferença de apenas 0,19% em relação ao tratamento cálcio/sem embalagem que também apresentou a maior atividade média da PG. Contudo, essa relação não ocorreu em todos os tratamentos.

A atividade da PME foi reprimida nos frutos armazenados em embalagens, que apresentaram valores 43,98% inferiores aos dos tratamentos sem embalagem. No trabalho de ABREU (1995), frutos acondicionados em embalagens de polietileno sem perfuração evidenciaram menor atividade da PME.

4 CONCLUSÃO

A embalagem de polietileno reduziu a atividade de todas as enzimas analisadas no presente estudo (FAL, PG, PME, PER e PFO).

Os tempos de imersão de 20, 30, 40 e 50 minutos aumentaram as atividades das peroxidases e polifenoloxidasas, enquanto os tempos

de 10 minutos foram efetivos na sua redução. O efeito que se obteve prolongando os tempos de imersão foi o oposto do que se pretendia (hipoteticamente) devido, provavelmente, à aproximação da temperatura ótima de atividade dessas enzimas.

Os tratamentos hidrotérmicos reduziram a atividade da FAL, independente do tempo de imersão, enquanto as atividades das PME aumentaram a partir de 20 minutos. As atividades das poligalacturonases não foram afetadas pelos referidos tratamentos. O tratamento hidrotérmico associado ao cálcio ativou as peroxidases.

Abstract

INFLUENCE OF POSTHARVEST TREATMENTS OVER ENZYMATIC ACTIVITY OF PINEAPPLE cv. Smooth Cayenne

The present study had as objective to determine the effects of the association of hydrothermal treatments, calcium chloride and modified atmosphere over the enzymatic activity of pineapple cv. Smooth Cayenne. The fruits cultivated in Canápolis-MG-Brazil were harvested in intermediate stage of maturation, with uniform size and weight varying from 1.8 to 2.1 kg. It was employed hydrothermal treatments at 40°C temperature, with and without calcium chloride at 2%, during 10, 20, 30, 40 and 50 minutes and storage with and without modified atmosphere packaging. After the treatments, the fruits were stored in a cold room at 8°C ± 2 temperature and relative humidity of 90% ± 3, for 20 days. Following this period, the fruits were kept at room temperature (20°C ± 2) and 80% ± 10 of relative humidity for 5 days. After this period, the activity of phenylalanine ammonium lyase, polygalacturonase, pectin methyl esterase, peroxidase and polyphenol oxidase were evaluated. The polyethylene packing reduced the activities of all the enzymes analyzed and the calcium chloride increased the activities of peroxidases. The increase in the immersion time elevated the activities of peroxidases and polyphenol oxidases.

KEY-WORDS: PINEAPPLE; HIDROTHERMICAL TREATMENTS; ENZYMATIC ACTIVITY.

REFERÊNCIAS

- 1 ABREU, C. M. P. de. **Efeito da embalagem de polietileno e da refrigeração no escurecimento interno e composição química durante a maturação do abacaxi cv. Smooth Cayenne**. Lavras, 1995. 94 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras.

- 2 BRUEMMER, J. E.; BONGWOO, R.; BOWEN, E. R. Peroxidase reactions and orange juice quality. **Journal of Food Science**, Chigago, v. 41, p.186-189, 1976.
- 3 BURNETTE, F. S. Peroxidase and its relationship to food flavour and quality: a review. **Journal of Food Science**, Chigago, v. 42, p.1-6, 1977.
- 4 CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1990. 320 p.
- 5 CLEMENTE, E.; PASTORE, G. M. Peroxidase and polyphenoloxidase, the importance for food technology. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 32, p. 167-171, 1998.
- 6 COSENTIG, M. Y.; LEE, C.Y. Changes in apple polyphenoloxidase and polyphenol concentration in relation to degree of browning. **Journal of Food Science**, v. 52, n. 4, p. 985-989, 1987.
- 7 GASPAR, TH.; PENEL, C.; CASTILLO, F. J.; GREPPIN, H. A two-step control of basic and acidic peroxidases and its significance for growth and development. In: ROBINSON, D. S.; ESKIN, N. A. M. **Oxidative enzymes in foods**. New York: Academic Press, 1991. 314 p.
- 8 GIACOMELLI, E. J. **Expansão da abacaxicultura no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1982. 79 p.
- 9 GRANADA, G. G.; ZAMBIAZI, R. C.; MENDONÇA, C. R. B. Abacaxi: produção, mercado e subprodutos. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 22, n.2, p.405-422, jul./dez.2004.
- 10 GRAHAM, D.; PATTERSON, B. D. Responses of plants to low, nonfreezing temperatures: proteins, metabolism, and acclimation. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.33, p.347-372, 1982.
- 11 GONÇALVES, N. B. **Efeito da aplicação de cloreto de cálcio associado ao tratamento hidrotérmico sobre a composição**

química e suscetibilidade ao escurecimento interno do abacaxi cv. *Smooth Cayenne*; Lavras, 1998. 128 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras.

- 12 HEPLER, P. K.; WAYNE, R. O. Calcium and plant development. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.36, p.397-439, 1985.
- 13 HOLLAND, N. **Conservação pós-colheita de pêssegos (cv. Biuti): interação entre cálcio e temperatura**. Lavras, 1993. 116 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Escola Superior de Agricultura de Lavras.
- 14 IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados da safra de abacaxi no Brasil**. On-line. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>> Acesso em: 23 maio de 2005.
- 15 JEN, J. J.; ROBINSON, M.L.P. Pectolytic in sweet bell peppers (*Capsicum annum* L.). **Journal of Food Science**, Chicago, v.9, n.4, p.1045-1087, 1984.
- 16 JONES, D. H. Phenylalanine ammonia lyase: regulation of its induction, and its role in plant development. **Phytochemistry**, Oxford, v.23, n.7, p.1349-1359, July 1984.
- 17 LURIE, S.; KLEIN, J. D. Calcium and heat treatments to improve storability of 'Anna' apples. **HortScience**, Alexandria, v. 27, n. 1, p. 36-39, Jan.1992.
- 18 MATSUNO, H.; URITANI, I. Physiological behavior of peroxidase isosymes in sweet potato root tissue injured by cutting or with black rot. **Plant and Cell Physiology**, Tóquio, v.13, p.1091-1101, 1972.
- 19 McCOLLUM, T. G.; DOOSTDAR, H.; MAYER, R. T.; McDONALD, R. E. Immersion of cucumber fruit in heated water alters chilling-induced physiological changes. **Postharvest Biological and Technology**, Amsterdam, v. 6, p. 55-64, 1995.
- 20 MORGADO, I. F.; AQUINO, C. N. P.; TERRA, D. C. T. Aspectos

- econômicos da cultura do abacaxi: sazonalidade de preços no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n.1. p. 44-47, Apr. 2004
- 21 MSTATC. **MSTATC versão 2.10**. East Lansing, MI: Michigan State University, 1989.
 - 22 NUNES, R. P. **Métodos para a pesquisa agronômica**. Fortaleza: UFC/Centro de Ciências Agrárias, 1998. 564 p.
 - 23 OORAIKUL, B.; STILES, M. E. Introduction: review of the development of modified atmosphere packaging. In: OORAIKUL, B.; STILES, M. E. (ed.). **Modified atmosphere packaging of food**. England: Ellis Horwood, 1991.
 - 24 PAULL, R. E.; ROHRBACH, K. G. Symptom development of chilling injury in pineapple fruit. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.110, n.1, p.100-105, Jan.1985.
 - 25 PESIS, E.; LEVI, A.; BEM-ARIE, R. Deastringency of persimmon fruits by creating a modified atmosphere in polyethylene bags. **Journal of Food Science**, Chigago, v. 51. n. 4, p. 1014-1016, 1986.
 - 26 PRABHA, T. N.; PATWARDHAN, M.V. Polyphenoloxidase (PPO) and peroxidase (POD) enzyme activities and their isoenzyme patterns in ripening fruits. **Acta Alimentaria**, v. 15, p. 199-207, 1986.
 - 27 PRESSEY, R.; AVANTS, J. K. Separation and characterization of the endopolygalacturonase and exopolygalacturonase from peaches. **Plant Physiology**, Washington, v.52, n.3, p.252-256, Sept. 1973.
 - 28 RATNER, A.; GOREN, R.; MONSELISE, S. P. Activity of pectin esterase and cellulase in the abscission zone of citrus leaf explants. **Plant Physiology**, Baltimore, v.44, n.12, p.1717-1723, Dec. 1969.
 - 29 RHODES, M. J. C.; WOOLTORTON, L. S. C. The effect of ethylene on the respiration and on the activity of phenylalanine ammonia lyase in swede and parsnip root tissue. **Phytochemistry**, Oxford, v.10, n.9, p.1989-1997, Sept.1971.

- 30 RHODES, M. J. C.; WOOLTORTON, L. S. C. Changes in the activity of enzymes of phenylpropanoid metabolism in tomatoes stored at low temperatures. **Phytochemistry**, Oxford, v.16, n.6, p.655-659, May 1977.
- 31 SIDDIQUI, S.; BANGERTH, F. The effect of calcium infiltration on structural changes in cell walls of stored apples. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 5, n. 71, p.703-708, 1996.
- 32 TEISSON, C. Le brunissement interne de l'ananas. I-Historique. II-Matériel et méthodes. **Fruits**, Paris, v.34, n.4, p.245-281, avr.1979.
- 33 THÉ, P. M. P. **Efeito da associação de tratamento hidrotérmico, cloreto de cálcio e atmosfera modificada sobre o escurecimento interno e qualidade do abacaxi cv. Smooth Cayenne**. Lavras, 2001.128 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos), Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras.
- 34 THÉ, P. M. P.; CARVALHO, V. D.; ABREU, C. M. P. de; NUNES, R. P.; PINTO, N. A.V. D. Modificações na atividade enzimática em abacaxi 'Smooth Cayenne' em função da temperatura de armazenamento e do estágio de maturação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.25, n.2, p.364-370, mar./abr. 2001.
- 35 VUKOMANOVIC, C. R. **Efeito da maturação e da baixa temperatura na composição química e no escurecimento interno do abacaxi**. Lavras, 1988. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Escola Superior de Agricultura de Lavras.
- 36 WILLS, R. B. H.; LEE, T. H.; GRAHAM, D.; Mc GLASSON, W. B.; HALL, E. G. **Postharvest**: an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables. Australia: New South Wales University Press, 1989. Chap. 4: Effects of temperature, p. 39-52.
- 37 ZUCKER, M. Induction of phenylalanine deaminase by light and its relation to chlorogenic acid synthesis in potato tuber tissue. **Plant Physiology**, Baltimore, v.40, n.5, p.779-84, Sept.1965.