



Série
Produtor Rural

nº 66



Incidência e controle da podridão apical do tomateiro

Lucas Baiochi Riboldi
Sabrina Helena da Cruz Araújo
Julian Alejandro Giraldo Múrcia
Paulo Roberto de Camargo e Castro

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Divisão de Biblioteca

ISSN 1414-4530

Universidade de São Paulo - USP

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ

Divisão de Biblioteca - DIBD

Lucas Baiochi Riboldi ¹

Sabrina Helena da Cruz Araújo ²

Julian Alejandro Giraldo Múrcia ³

Paulo Roberto de Camargo e Castro ⁴

¹ Doutor em Fisiologia e Bioquímica de Plantas- ESALQ/USP - lucasriboldi@usp.br

² Doutora em Fisiologia e Bioquímica de Plantas - ESALQ/USP - shcaraujo@gmail.com

³ Mestre em Fisiologia e Bioquímica de Plantas - ESALQ/USP - julian9alej@hotmail.com

⁴ Prof. Titular - Departamento de Ciências Biológicas - ESALQ/USP - prcastro@usp.br

Incidência e controle da podridão apical do tomateiro

Série Produtor Rural - nº 66

Piracicaba

2018

DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD

Av. Pádua Dias, 11 - Caixa Postal 9

13418-900 - Piracicaba - SP

biblioteca.esalq@usp.br • www.esalq.usp.br/biblioteca

Revisão e Edição Eliana Maria Garcia

Foto Capa Lucas Baiochi Riboldi

Layout Capa José Adilson Milanêz

Editoração Eletrônica Maria Clarete Sarkis Hyppolito

Impressão e Acabamento Serviço de Produções Gráficas - ESALQ

Tiragem 300 exemplares

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP

Incidência e controle da podridão do tomateiro / Lucas Baiochi Riboldi ... [et al.]. - Piracicaba:
ESALQ - Divisão de Biblioteca, 2018.

36 p. : il. (Série Produtor Rural, nº 66)

Bibliografia.

ISSN: 1414-4530

1. Cálcio 2. Distúrbios fisiológicos de plantas 3. Podridão apical - Controle 4. Tomate I.
Riboldi, L. B. II. Araújo, S. H. da C. III. Giraldo Múrcia, J. A. IV. Castro, P. R. de C. e V. Escola
Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Divisão de Biblioteca VI. Título VII. Série

CDD 635.642

I37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 CÁLCIO	7
2.1 Aspectos gerais	7
2.2 Cálcio no solo	7
2.3 Cálcio na planta	9
2.4 Cálcio no fruto	10
3 PODRIDÃO APICAL DO FRUTO	13
4 FATORES QUE AFETAM A PODRIDÃO APICAL : FATORES ABIÓTICOS	17
4.1 Estresse hídrico	17
4.2 Salinidade	17
4.3 Luz e temperatura	18
4.4 Desequilíbrio mineral	20
5 FATORES QUE AFETAM A PODRIDÃO APICAL: EQUILÍBRIO HORMONAL	23
6 MANEJO	25
7 AVANÇOS RECENTES E MÉTODOS DE CONTROLE	27
REFERÊNCIAS	29

Desordens fisiológicas são provocadas por estresses na planta, normalmente associados a uma condição desfavorável do ambiente juntamente com a manifestação de componentes genéticos. Variações climáticas bruscas podem ser mais danosas que as condições desfavoráveis de temperatura e umidade, no entanto, não são as causas exatas dos desequilíbrios fisiológicos, pois geralmente, um grupo de fatores está envolvido, como disponibilidade de água e nutrientes no solo, práticas culturais (espaçamento, condução, adubação, etc.), cultivares (fator genético), entre outros (KINET; PEET, 1997).

As desordens causadas pela deficiência de cálcio têm sido estudadas por pesquisadores por mais de 100 anos. Porém ainda hoje pouco se sabe a respeito dos mecanismos envolvidos (SAURE, 2001). Até pouco tempo atrás, pensávamos que a deficiência era induzida apenas pela falta de cálcio no solo ou substrato, mas o que se tem encontrado mostra que existem muito mais fatores envolvidos.

Em hortaliças, os desequilíbrios relacionados ao cálcio incluem a queima dos bordos das folhas, de ocorrência comum em alface, e a podridão apical ou fundo preto, que ocorre em tomates e pimentões. Estes desequilíbrios são determinados por concentrações inadequadas de cálcio nos tecidos afetados e em alguns casos não resultam de concentrações insuficientes de cálcio no meio de cultivo. Esses problemas, em geral, se devem às falhas no transporte deste íon, causadas por condições internas e ambientais predisponentes (DE FREITAS et al., 2012).

De acordo com Adams (1994), a podridão apical ou fundo preto é provocada por deficiência do nutriente localizada na parte distal do fruto. Esta desordem é

causada não somente pela absorção de cálcio, mais ainda por condições que afetam a distribuição do cálcio para os frutos, como a baixa mobilidade deste nutriente e elevada taxa de crescimento dos frutos (NONAMI et al., 1995).

Anos de seleção genética visando o aumento do tamanho e peso dos frutos, podem ter favorecido a seleção de mecanismos que inibem o acúmulo de cálcio e/ou que incentivam o armazenamento deste íon em organelas celulares, reduzindo o Ca^{2+} ligado à parede celular e possibilitando o crescimento normal dos frutos (DE FREITAS et al., 2011). Estas modificações metabólicas podem ter levado ao aumento da susceptibilidade dos frutos à podridão apical uma vez que tomates grandes e longos são mais susceptíveis à podridão apical do que tomates pequenos e redondos (HO; WHITE, 2005).

2.1. Aspectos gerais

O cálcio é um mineral muito importante para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Ele foi reconhecido como nutriente essencial para as plantas durante a metade do século 19, mas o uso de calcário e marga na agricultura data do período pré-cristão (TISDALE; NELSON, 1966). Ele é um nutriente essencial requerido para o funcionamento da membrana plasmática, em organelas de armazenamento, no citosol para respostas de sinalização celular e no apoplasto para a estrutura da parede celular (WHITE; BROADLEY, 2003).

Muitos sinais e interpretações ambientais como luz, estresses bióticos e abióticos, são estimulados com mudanças nos níveis de cálcio. Por isso, ele além de nutriente é denominado de mensageiro secundário, principalmente quando ligado à calmodulina. Sua presença nas organelas é altamente regulada, sendo que algumas delas como vacúolos, retículo endoplasmático, mitocôndria e também a parede celular, apresentam estoques de cálcio, onde o equilíbrio necessita ser bem regulado, sendo geralmente encontrado em concentrações muito baixas, na ordem de milimolar (TUTEJA; MAHAJAN, 2007).

2.2. Cálcio no solo

No solo ou em qualquer condição de cultivo, os nutrientes ficam em constante interação com os íons dissolvidos nesta matriz, ou adsorvidos a cargas. Deste modo, pode ocorrer que o desequilíbrio entre nutrientes verifique-se por diversos fatores, como a disponibilidade de nutrientes no solo e a absorção destes pelas plantas.

Os principais fatores que afetam a disponibilidade e absorção de nutrientes são o tipo de solo, o pH, a concentração e o equilíbrio entre a fração trocável e em solução do solo, além de interações iônicas (MALAVOLTA, 1980).

Dentre os nutrientes, o cálcio geralmente encontra-se em baixa concentração nos solos ácidos, que são típicos do território brasileiro. Tal nutriente participa das funções estruturais, osmóticas e de mensageiro citoplasmático (MARSCHNER et al., 1996).

Na nutrição vegetal, esse fato está relacionado às suas propriedades químicas muito similares, como o grau de valência e a mobilidade, fazendo com que haja competição pelos sítios de adsorção no solo e na absorção pelas raízes. Como consequência, a presença excessiva de um, pode prejudicar os processos de adsorção e absorção do outro (ORLANDO FILHO et al., 1996). A interação desses macronutrientes no sistema solo-planta é mediada pela absorção da planta.

Em termos de absorção pelas plantas, o cálcio compete com outros cátions, como Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , NH_4^+ , Fe^{2+} e Al^{3+} . Solos ácidos, contendo Al^{3+} livre ou uma grande quantidade de amônio aplicada ao sistema, podem diminuir a absorção de cálcio pelas plantas. Portanto, a competição entre estes, causa uma absorção diferencial entre os íons pela planta, iniciando uma cascata de eventos que leva ao aparecimento dos sintomas de deficiência.

A entrada pelas raízes ocorre tanto via apoplástica como simplástica, porém como o cálcio é mantido em baixas concentrações no citoplasma, acredita-se que a rota apoplástica seja predominante, além disso, ocorre após ser interceptado por uma raiz (KARLEY; WHITE, 2009).

2.3. Cálcio na planta

A translocação do cálcio ocorre quase totalmente via xilema, movendo-se das raízes até a parte aérea das plantas. Portanto, a absorção é altamente dependente da taxa de transpiração e do crescimento da planta (HO et al., 1993).

Após a chegada dos íons nos vasos do xilema, estes são direcionados juntamente com a água para as folhas, ramos e frutos. A velocidade de translocação no xilema vai ser dependente da taxa transpiratória. Além disso, esta transpiração vai governar a direção para onde a seiva do xilema será direcionada (DE FREITAS et al., 2014).

A transpiração é a forma que as plantas possuem para dissipar o excesso de energia na forma de calor, uma vez que a evaporação da água é um processo que necessita de muita energia, além de também possibilitar a troca de gases para a atividade fotossintética. Naturalmente, a água vai ser realocada nos tecidos onde a taxa transpiratória é mais elevada e juntamente com ela vão os sais minerais e outras substâncias dissolvidas. Deste modo, os íons cálcio tendem a se concentrar mais nas folhas do que em frutos em condições onde a perda evaporativa (déficit de pressão de vapor) é muito elevada. Assim, nestas situações tendem a ocorrer maiores problemas decorrentes da falta de cálcio nos frutos. (DE FREITAS et al., 2011)

Durante a formação dos frutos, principalmente logo após a polinização das flores, os frutos são abastecidos pela planta com água e nutrientes. Neste momento, a maior quantidade de cálcio chega nos mesmos. A partir daí, com o crescimento dos frutos, esta conexão xilemática começa a dar lugar à mobilização de fotoassimilados oriundos do floema. (HO; WHITE, 2005)

Durante este período, ocorre a formação dos tecidos de reserva dos frutos: amido, proteína e lipídeos. Como o cálcio é exclusivamente transportado via xilema e este movimento ocorre devido ao gradiente transpiratório, paulatinamente o fruto deixa de ser abastecido pelo mesmo, sendo que nos estádios de desenvolvimento mais avançados dos frutos, começam a se manifestar os sintomas da podridão apical (DE FREITAS et al., 2014)

Além disso, alguns frutos possuem fatores genéticos que causam uma maior susceptibilidade à podridão apical. Frutos maiores e mais alongados de tomateiro (tipo italiano) tendem a manifestar mais estes sintomas. Nestes frutos, os vasos de xilema tendem a não se desenvolver muito bem na porção distal do mesmo, diminuindo a translocação de cálcio naquela região, propiciando o aparecimento da podridão. Isto ocorre principalmente quando as condições ambientais vão propiciar o movimento de cálcio em direção às folhas (SAURE, 2005).

2.4. Cálcio no fruto

O cálcio é um elemento muito importante no fruto, porém ele chega até o mesmo em pequenas quantias e que podem ser alteradas dependendo de diversos fatores exteriores ao fruto, como de regulação interna.

Estudos em macieira mostraram que as máximas concentrações de cálcio no fruto ocorrem logo após a fertilização e a partir disso, decresce rapidamente. Isto pode ser explicado pelo rápido crescimento celular observado após este período, onde o cálcio é amplamente utilizado. Por isso, quanto maior os frutos, maior a necessidade de cálcio. Além disso, a concentração de cálcio no fruto não é igual em todas as suas partes. Geralmente

se observa um gradiente se compararmos a porção proximal com a distal, sendo que nesta última é onde geralmente ocorre a podridão (SAURE, 2005).

Os locais onde se encontra cálcio não ligado à parede são: no suco, complexado às proteínas, lipídeos, polissacarídeos, organelas e no citoplasma. Porém, sua maior parte fica localizada nos vacúolos do citoplasma. As duas formas mais encontradas, além do íon dissolvido na seiva, é a pectina e os oxalatos de cálcio, estes últimos formando cristais, mas podendo ser remobilizados quando necessário, diferente da pectina que vai “cimentar” a lamela média e a parede celular (SAURE, 2005).

3 PODRIDÃO APICAL DO FRUTO

A podridão apical é a desordem fisiológica mais bem relatada em tomateiro e a muito se pesquisa seus reais motivos. Pesquisas iniciais, que datam de 100 anos atrás, focaram no cálcio justamente por este estar relacionado ao desenvolvimento da parede celular e desta forma, como o principal sintoma é a necrose da parede na porção distal, os estudos se basearam tanto na absorção dos nutrientes, como em seus efeitos na planta como um todo. Entretanto, hoje em dia se sabe que existe uma complexidade muito maior nas causas e seus efeitos variam, dependendo da interação da planta com o ambiente, das condições de cultivo e da variedade.

Ainda não se conhecem os motivos pelos quais os tecidos da porção distal entram em morte celular, iniciando-se os sintomas como uma desintegração da conformação das membranas plasmáticas e da parede celular, dando origem a um tecido amolecido que posteriormente torna-se necrosado (Figura 1). Além da porcentagem de incidência de podridão, em variedades muito susceptíveis, nota-se não somente uma região enegrecida no final da porção distal, mas tomando quase todo o fruto.



Figura 1 - Podridão apical afetando fruto de tomateiro

Não existe um momento específico para que os sintomas se iniciem, entretanto, na maior parte dos trabalhos, relata-se que o início do amolecimento ocorra entre 10 a 30 dias após o início da polinização, sendo que em frutos onde se iniciam mais precocemente, existe grande probabilidade da intensidade da desordem ser elevada. Ainda existe a possibilidade de que em muitos frutos os sintomas sejam percebidos apenas internamente, quando se faz a excisão dos mesmos. De qualquer forma, iniciados os sintomas nos frutos, eles são irreversíveis e as formas de controle, apesar de serem viáveis, visam apenas os frutos onde ainda não se desenvolveram os sintomas de podridão.

Além disso, um fator bastante importante e conhecido dos agricultores e pesquisadores, mas de certa forma negligenciado nas pesquisas, são os formatos de

frutos contribuindo para maior incidência de podridão. O tomateiro é uma planta com centenas de variedades e podemos destacar quatro grandes grupos: tomateiros de formato arredondado e ovalado, de formato achatado, pequenos mais conhecidos como cereja e por fim frutos de formato mais alongado, mais conhecidos aqui como roma ou italianos.

Dentre estes, os que possuem frutos mais alongados, ou seja, os italianos ou roma, são os que apresentam maiores problemas. Esse fato ainda não é bem compreendido, entretanto, nestes frutos, a funcionalidade dos xilemas, ou seja, a capacidade dos vasos levarem água e nutrientes até a porção distal destes frutos é prejudicada. Além disso, a maior distância entre o pedúnculo e a porção distal também pode dificultar essa translocação dos solutos. Dessa forma, tanto a incidência como a severidade da podridão nos frutos é bem maior.

A vascularização dos frutos de tomateiro é bem dividida nas porções proximal e distal, como visto na Figura 2. Utilizando-se de uma técnica bem simples para corar os vasos de xilema, pode-se notar que a água e o corante ficam bem distribuídos na porção proximal do fruto, onde existe grande irrigação do mesmo pelos vasos. Por outro lado, na porção distal, poucos vasos de xilema se mostram funcionais e essa figura exemplifica isso. Dessa forma, pode-se concluir que menos água e nutrientes conseguem chegar a esta porção e assim sendo, os sintomas de podridão apical se desenvolvem (Figura 3).



Figura 2 - Vasos de xilema no fruto de tomate. A coloração azul é devida a utilização de corante e mostra os vasos de xilema que se encontram funcionais nessa fase de desenvolvimento

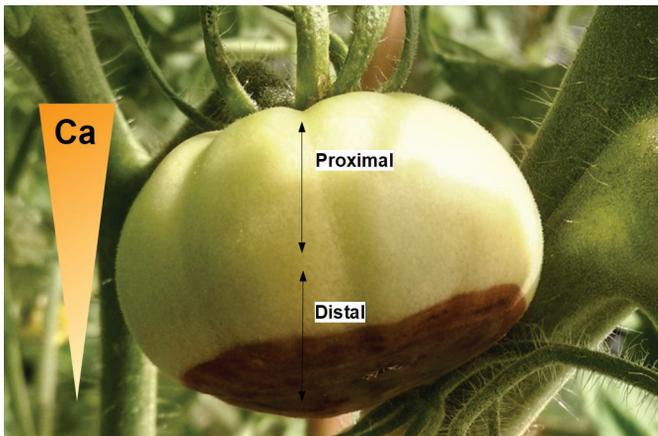


Figura 3 - Concentração de cálcio no fruto. Na porção proximal tende a se encontrar maiores concentrações de cálcio do que na porção distal, onde geralmente iniciam-se os sintomas de podridão

O aumento da incidência e da severidade da podridão apical pode estar relacionado com fatores externos à planta, como o estresse hídrico, salinidade, excesso de luz e temperatura, mas também por desequilíbrio dos nutrientes minerais na zona radicular.

4.1. Estresse hídrico

Quando a planta está sujeita a déficit hídrico, muitos de seus processos fisiológicos são afetados, tais como: abertura estomática, fotossíntese, síntese de proteínas, atividade enzimática e hormonal, dentre outros (VILELLA; BULL, 1999). O estresse hídrico afeta o metabolismo das plantas de várias maneiras, sendo o fechamento estomático e conseqüentemente a diminuição da condutância estomática o primeiro mecanismo de ação contra o estabelecimento do déficit (GOODGER; SCHATCHMAN, 2010), o que reduz a transpiração e previne a excessiva perda de água (COCHARD et al., 2002). Por outro lado, essa diminuição da abertura estomática prejudica a absorção de CO₂ e conseqüentemente a fotossíntese, afetando o crescimento da planta (CHAVES et al., 2008).

4.2. Salinidade

A salinidade é um fator ambiental que em certas condições pode inviabilizar a produção vegetal. É um grande problema em algumas áreas do mundo, onde a água utilizada tem características salinas, em regiões semiáridas ou a adubação exercida em excesso, deixando resíduos que com o tempo salinizam o local se não forem dados os tratamentos adequados.

Quando os íons salinos chegam ao apoplasto, o equilíbrio termodinâmico aquoso e iônico é alterado, o que resulta num estresse hiperosmótico, desequilíbrio iônico e toxidez. Deste modo é vital para a planta reestabelecer a homeostase iônica para o adequado funcionamento e crescimento (NAVARRO et al., 2000).

Tem-se mostrado que o cálcio tende a amenizar os efeitos adversos da salinidade nas plantas. Os íons cálcio são conhecidos por apresentar efeitos regulatórios no metabolismo e os íons sódio podem competir com os íons cálcio nos sítios de ligação da membrana. Deste modo, acredita-se que o cálcio tenha importância contra os efeitos adversos da salinidade, permitindo o transporte de água xilemático a partir das raízes, sob estresse salino (NAVARRO et al., 2000).

4.3. Luz e temperatura

Os efeitos da luz e temperatura são simultâneos quando se relaciona com a redução na concentração de cálcio no fruto. Em condições de iluminação e temperatura adequadas, tanto a planta como os frutos tendem a se desenvolver mais rapidamente, devido a maior taxa fotossintética. Porém, nesta condição, há um aumento na expansão dos frutos, o que leva a uma diluição na concentração de cálcio no mesmo. Se o fornecimento de cálcio xilemático nos frutos não for suficiente, estes mostrarão rapidamente os sinais iniciais da podridão (HO; WHITE, 2005).

Além disso, sabe-se que nestas condições de alta luminosidade e temperatura, tende a diminuir a umidade relativa do ar. Com isso, há um deslocamento do fluxo xilemático dos frutos para as folhas, concentrando, deste

modo, o cálcio nas mesmas e aumentando a severidade da podridão (DE FREITAS et al., 2011).

A temperatura ótima na fase de crescimento do tomateiro está entre 20 e 26°C. Temperaturas diurnas em torno de 26°C e noturnas de 17 a 20°C promovem um maior crescimento da planta. Temperaturas tanto altas como baixas inibem o crescimento. A translocação de fotoassimilados é maior quando a temperatura é baixa (8°C) e o alongamento radicular aumenta quando a temperatura noturna é alta (25,5°C), segundo Went (1948).

O estresse térmico é um dos fatores que mais limitam a produtividade do tomateiro. De acordo com Aung (1978), as temperaturas ótimas em cada fase de crescimento são mostradas na Tabela 1.

Tabela 3 - Temperaturas ótimas de acordo com as fases de crescimento do tomateiro

Fases de crescimento do tomateiro						
Germinação semente	Crescimento da plântula	Crescimento raiz	Iniciação foliar	Antese	Fixação Fruto	Amadurecimento Fruto
26-32°C	25-26°C	Plântula: 26-30°C Adulta: 27º dia 13-22°C noite	20-30°C	13-14°C dia 22°C noite	18-20°C	24-28°C

Fonte: adaptado de Aung (1978)

4.4. Desequilíbrio mineral

A nutrição mineral das plantas pode alterar a incidência da podridão apical, tanto ao nível da absorção radicular como nas interações entre o cálcio e outros nutrientes. Altos níveis de N no solo induzem a um crescimento das brotações, que tem sido indicado por alterar o movimento de cálcio para as folhas, já que estas apresentam maior transpiração do que os frutos. Deste modo, quanto maior a área foliar, maior será o fluxo de água deslocado a ela e maior a incidência da podridão apical.

Além disso, altos níveis de N constituem um gatilho para a expansão celular dos frutos, o que pode diluir ainda mais o pouco cálcio que chega nos frutos (BAR-TAL et al., 2001). Por outro lado, já é bem relatado que a nutrição com nitrogênio de fonte amoniacal (NH_4^+) ou aplicação em solução nutritiva com alta razão de $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$, tem efeito no aumento da incidência e severidade da podridão (ALBAHOU, 1999). Devemos também observar que não somente a concentração iônica, mas a razão entre os nutrientes e o cálcio, pode provocar a incidência da podridão (DE FREITAS et al., 2010).

Os nutrientes K^+ e Mg^{2+} também tem sido relatados como promotores da podridão apical. O potássio é um nutriente conhecido principalmente por atuar na osmorregulação da planta além de ser cofator para diversas enzimas. Além disso, ele atua nos processos de expansão celular, deste modo, altos níveis de potássio podem induzir um maior crescimento dos frutos e do mesmo modo que o nitrogênio, pode levar ao aparecimento da podridão apical (ELUMALAI et al., 2002).

Por outro lado, estes dois cátions competem com o cálcio por sítios de ligação na membrana plasmática. Deste modo, altas concentrações destes cátions poderiam

substituir o cálcio na superfície da membrana, mas não sua função (YERMIYAHU et al., 1994), o que pode levar a uma membrana mais fluida, aumentando susceptibilidade do fruto à podridão apical.

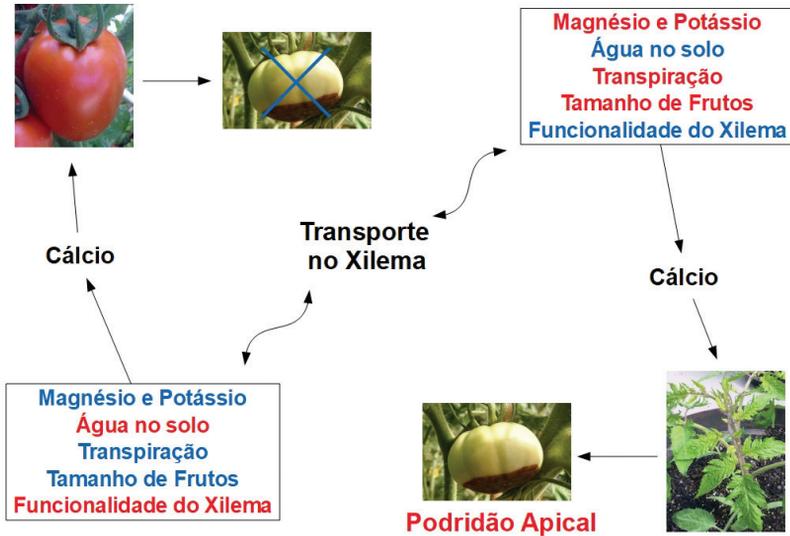


Figura 4 - Esquema demonstrando os principais fatores envolvidos no desenvolvimento da podridão apical (Vermelho: aumento, Azul: redução)

Os hormônios vegetais são reguladores vegetais, quando aplicados nas plantas, controlando diversos processos celulares nos vegetais. Podem ser afetadas a absorção, translocação e particionamento a nível celular. Os hormônios vegetais, como auxinas, giberelinas, brassinosteroides, etileno e ácido abscísico controlam mecanismos que regulam o transporte, acúmulo e alocação de cálcio, assim como o estresse oxidativo nos frutos. Porém, poucos estudos mostram como é realizada esta regulação da susceptibilidade de frutos em resposta a estes reguladores, em resposta ao cálcio.

- **Auxinas:** estudos mostram que a diferenciação do tecido xilemático é induzido e controlado principalmente por auxinas (YOSHIDA et al., 2009). Devido ao fato do cálcio ser transportado em plantas principalmente via xilema, a diferenciação e manutenção da funcionalidade destes vasos são de extrema importância para o movimento e acúmulo de cálcio nos frutos (MIQUELOTO et al., 2014).
- **Giberelinas:** são hormônios vegetais responsáveis pelo crescimento do tecido vegetal, constituindo num gatilho para a expansão celular, juntamente com as auxinas (HO; WHITE, 2005). Além disso, giberelinas quando ativas, inibem a diferenciação dos tecidos (ALONI, 2001), podendo afetar o desenvolvimento e a funcionalidade dos vasos de xilema.
- **Brassinosteróides:** são conhecidos pela sua função no desenvolvimento de vasos do xilema, sendo que na sua ausência existe o predomínio da formação de elementos crivados do floema (NAGATA et al., 2001).

Desta forma, sua ausência, pode prejudicar ainda mais a alocação de cálcio até os frutos, já que o mesmo é transportado via xilema. Estudos recentes relatam que a aplicação de brassinosteróides diminuiu a incidência de podridão de maneira significativa (RIBOLDI et al., 2018)

- **Etileno:** após a colheita, regula a expressão e atividade de enzimas que atuam na parede celular. O aumento do etileno pode afetar a dinâmica da ligação do cálcio nas mesmas, ocasionado à podridão. Além disso, alguns estudos tem mostrado que há aumento na biossíntese de etileno em frutos com deficiência inicial de cálcio (TAYLOR; LOCASCIO, 2004). Existem diversas enzimas que atuam no fruto, principalmente no período de maturação, como pectinases e celulases, responsáveis pelo amolecimento do fruto.
- **Ácido abscísico:** o hormônio vegetal ácido abscísico (ABA) é conhecido por reduzir a abertura estomática e diminuir a transpiração foliar, o que pode restringir o direcionamento do fluxo de seiva e cálcio do xilema para as folhas e aumentar para os frutos (GUICHARD et al., 2005). Estudos onde o ABA foi aplicado em plantas de tomateiro, mostraram uma elevação do cálcio no tecido do pericarpo, no final do pedúnculo, reduzindo a incidência da podridão apical (RIBOLDI et al., 2018; DE FREITAS et al., 2014).

A podridão apical é atribuída a alterações na absorção e transporte de cálcio das raízes para os frutos, especificamente em sua parte distal. Segundo Fernandes e Martinez (2002), a quantidade de cálcio presente no fruto varia na faixa de 1,4 a 1,5 g kg⁻¹ para a região próxima ao pedúnculo. A ocorrência de podridão apical aumenta significativamente, quando a concentração de cálcio no fruto é menor que 0,8 g kg⁻¹, e ocasionalmente diminui, quando a concentração é maior que 1,2 g kg⁻¹ (GIERSON; KADER, 1986).

Distúrbios fisiológicos relacionados à deficiência de cálcio na cultura do tomate (cultivar Saladete) na região de Guanambi, localizada no Semiárido Baiano, foram em torno de 20 e 30% das plantas da lavoura (GUIMARÃES; TEIXEIRA; CARDOSO, 2015). Por outro lado, a incidência de podridão na cultura de tomate industrial (híbrido Heinz 9992) plantado no cerrado sob condições de irrigação por gotejamento, foi de 0,2 %. A baixa ocorrência de podridão apical se deve ao adequado suprimento de cálcio à cultura (nitrato e cloreto de cálcio) fornecido via fertirrigação desde a etapa de floração do tomateiro (MAROUELLI; SILVA, 2006).

Nos cultivos em ambientes protegidos, onde as exigências de cálcio são mais altas, torna-se necessário o suprimento adequado do nutriente para se reduzir a incidência de podridão apical, sendo que este foi um fator que se refletiu em grandes perdas totais, com perdas médias de 29,96 t/ha em ‘Santa Clara’ e 59,03 t/ha em ‘Débora Plus’ o qual apresentou maior suscetibilidade a esta desordem fisiológica (LOOS; SILVA; FONTES; PISCANÇO, 2008).

Os efeitos da concentração de nitrogênio na relação N-NO₃:N-NH₄ sobre a incidência da podridão apical afeta

os rendimentos totais e a qualidade do fruto quando esta relação diminui. A concentração de NH_4 na solução nutritiva é a principal causa da supressão de cálcio nas folhas e frutos, aumentando a incidência de podridão apical (BARTAL et al., 2001). Isso ocorre através do mecanismo de balanço de carga na absorção de íons, já que o nitrogênio é um macronutriente dominante, e sua forma iônica regula a captação de cátions e ânions (GANMORE-NEUMANN; KAFKAFI, 1980). Deve-se, portanto, estar atento à fonte de adubação nitrogenada utilizada.

Assim como a redução do pH diminui a absorção de cálcio e outros cátions, de acordo com o funcionamento da bomba de efluxo de prótons ligada à membrana plasmática que constitui a força motriz para a absorção de íons (MARSCHNER, 2011), sendo, portanto, necessário o monitoramento do pH e sua correção quando necessária.

O cálcio é um nutriente pouco móvel na planta que desempenha diversas funções fisiológicas, mas sua absorção, translocação e ação são controladas por diversos fatores. Fatores intrínsecos da planta só podem ser alterados via melhoramento genético, mutações ou transgenia. Além disso, o entendimento das relações ambientais com os fatores que regulam o desenvolvimento da planta, como os hormônios vegetais, é muito importante para se entender melhor o que acontece durante o aparecimento da podridão apical.

Podem-se restringir esses sintomas de deficiência de cálcio, efetuando-se pulverizações foliares com antitranspirantes das diversas naturezas: de camada delgada como oxietileno docosanol (óleo de colza), refletor como caulim e metabólico como atrazine em baixa concentração. Com a redução da transpiração foliar é possível incrementar o transporte de cálcio para os frutos, reduzindo assim, a incidência de podridão apical.

Pulverizações frequentes durante a fase reprodutiva do tomateiro com soluções de cloreto de cálcio a 0,4% também evitam a ocorrência da podridão apical.

Além disso, tem-se mostrado bem efetivo o uso de biorreguladores para o controle da podridão apical. A giberelina, biorregulador de uso amplo na agricultura, promove um aumento no tamanho dos frutos e em muitos casos, aumento na incidência da podridão. Desta forma, deve-se usar com cuidado, respeitando as dosagens e o fornecimento de cálcio e umidade na medida certa. O produto comercial ProGibb, tem sido usado com muitos resultados positivos para diminuir essa incidência, controlando a atuação das giberelinas nas plantas e promovendo um melhor fluxo de cálcio para estes frutos.

Por último, ainda mais restrito à pesquisa acadêmica, temos o ácido abscísico. Este hormônio vegetal tem diversas aplicações nas plantas, melhorando a sua adaptação às condições ambientais estressantes como falta de água e altas temperaturas. Muitos trabalhos tem mostrado uma diminuição significativa na incidência de podridão (RIBOLDI et al., 2018; DE FREITAS et al., 2014).

ADAMS, P. Some effects of the environment on the nutrition of greenhouse tomatoes. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 366, p. 405-416, 1994.

ALBAHOU, M. **Alternative greenhouse tomato production system**. 1999. 223 p. Thesis (PhD) - Oregon State University, Corvallis, 1999.

ALONI, R. Foliar and axial aspects of vascular differentiation: hypotheses and evidence. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 20, p. 20-22, 2001.

AUNG, L.H. Temperature regulation of growth and development of tomato during ontogeny. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL TOMATO, 1., 1978, Shambura. **Proceedings...**

BAR-TAL, A.; ALONI, B.; KARNI, L. Nitrogen nutrition of greenhouse pepper. I. Effects of nitrogen concentration and $\text{NO}_3:\text{NH}_4$ ratio on yield, fruit shape, and the incidence of blossom-end rot in relation to plant mineral composition. **HortScience**, St. Joseph, v. 36, p. 1244-1251, 2001.

CHAVES, M.M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, p. 551-560, 2008.

COCHARD, H.; COLL, L.; LE ROUX, X.; AMEGLIO, T. Unraveling the effects of plant hydraulics on stomatal closure during water stress in walnut. **Plant Physiology**, Rockville, v. 128, p. 282-290, 2002.

DE FREITAS, S.T.; MITCHAM, E.J. Factors involved in fruit calcium deficiency disorders. **Horticultural Reviews**, Westport, v. 40, p. 107-146, 2012.

DE FREITAS, S.T.; JIANG, C.Z.; MITCHAM, E.J. Mechanisms involved in calcium deficiency development in tomato fruit in response to gibberellins. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 31, p. 221-234, 2012.

DE FREITAS, S.T.; SHACKEL, K.A.; MITCHAM, E.J. Abscisic acid triggers whole-plant and fruit-specific mechanisms to increase fruit calcium uptake and prevent blossom-end rot development in tomato fruit. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, p. 2645-2656, 2011.

DE FREITAS, S.T.; AMARANTE, C.V.T.; LABAVITCH, J.M.; MITCHAM, E. Cellular approach to understand bitter pit development in apple fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 57, p. 6-13, 2010.

DE FREITAS, S.T.; MCELDRONE, A.J.; SHACKEL, K.A.; MITCHAM, E.J. Calcium partitioning and allocation and blossom-end rot development in tomato plants in response to whole-plant and fruit-specific abscisic acid treatments. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 65, n. 1, p. 235-247, 2014.

DE FREITAS, S.T.; HANDA, A.K.; WU, Q.; PARK, S.; MITCHAM, E.J. Role of pectin methylesterases in cellular calcium distribution and blossom-end rot development in tomato fruit. **The Plant Journal**, Oxford, v. 71, p. 824-835, 2012.

ELUMALAI, R.P.; PUNITA NAGPAL, P.; REED, W.J. A mutation in the *Arabidopsis* KT2/KUP2 potassium transporter gene affects shoot cell expansion. **Plant Cell**, Baltimore, v. 14, p. 119-131, 2002.

FERNANDES, A.A.; MARTINEZ, H.E.P. Produtividade, qualidade dos frutos e estado nutricional do tomateiro tipo longa vida conduzido com um cacho, em cultivo hidropônico, em função das fontes de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p. 564-570, 2002.

GANMORE-NEUMANN, R.; KAFKAFI, U. Root temperature and percentage $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ effect on tomato plant development I. Morphology and growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, n. 5, p. 758-761, 1980.

GIERSON, D.; KADER, A.A. Fruit ripening and quality. In: ATHERTON, J.G.; RUDICH, J. (Ed.). **The tomato crop**. Dordrecht: Springer, 1986. p. 241-280.

GOODGER, J.Q.D.; SCHACHTMAN, D.P. Re-examining the role of ABA as the primary long-distance signal produced by water-stresses roots. **Plant Signaling & Behavior**, Georgetown, v. 5, n. 10, p. 1298-1301, 2010.

GUICHARD, S.; GARY, C.; LEONARDI, C.; BERTIN, N.
Analysis of growth and water relations of tomato fruit in
relation to air vapor pressure deficit and plant fruit load.
Journal of Plant Growth Regulation, New York, v. 24,
p. 201-213, 2005.

GUIMARÃES, M.A.S.; TEIXEIRA, J.H.S.; CARDOSO, S.C.
Ocorrência de doenças do tomateiro na região de
Guanambi, BA. **Revista Verde de Agroecologia e
Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 10, n. 5,
p. 38-42, 2015.

HO, L.C.; WHITE, P.J. A cellular hypothesis for the
induction of blossom-end rot in tomato fruit. **Annals of
Botany**, Oxford, v. 95, p. 571-581, 2005.

HO, L.C.; BELDA, R.; BROWN, M.; ANDREWS, J., ADAMS, P.
Uptake and transport of calcium and the possible causes
of blossom-end rot in tomato. **Journal of Experimental
Botany**, Oxford, v. 44, p. 509-518, 1993.

KARLEY, A.J.; WHITE, P.J. Moving cationic minerals to
edible tissue: potassium, magnesium, calcium. **Current
Opinion in Plant Biology**, London, v. 12, p. 291-298,
2009.

KINET, J.M., PEET, M.M. Tomato. In: WIEN, H.C. (Ed.). **The
physiology of vegetable crops**. Wallingford: CAB
International, 1997. p. 207-258.

LOOS, R.A.; SILVA, D.J.H.; FONTES, P.C.R.; PICANÇO, M.C. Identificação e quantificação dos componentes de perdas de produção do tomateiro em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 26, p. 281-286, 2008.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. Irrigação por gotejamento do tomateiro industrial durante o estágio de frutificação, na região de Cerrado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 3, p. 342-346, 2006.

MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. New York: Academic Press, 2001. 651 p.

MARSCHNER, H.; KIRKBY, E.A.; ÇAKMAK, I. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. **Journal of Experimental Botany**, v. 47, p. 1255-1263, 1996. Special issue.

MIQUELOTO, A.; AMARANTE, C.V.T.; STEFFENS, C.A.; SANTOS, A.; MITCHAM, E. Relationship between xylem functionality, calcium content and the incidence of bitter pit in apple fruit. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 165, p. 319-323, 2014.

ORLANDO FILHO, J.O.; BITTENCOURT, V.C.; CARMELLO, Q.A.C.; BEAUCLAIR, E.G.F. Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 14, n. 5, p. 13-17, 1996.

NAGATA, N.; ASAMI, T.; YOSHIDA, S. Brassinazole, an inhibitor of brassinosteroid biosynthesis, inhibits development of secondary xylem in cress plants (*Lepidium sativum*). **Plant Cell Physiology**, Tokyo, v. 42, p. 1006-1011, 2001.

NAVARRO, J.M., MARTINEZ, V, CARVAJAL, M. Ammonium, bicarbonate and calcium effects on tomato plants grown under saline conditions. **Plant Science**, Amsterdam, v. 157, p. 89-96, 2000.

NONAMI, H.; FUKUYAMA, T.; YAMAMOTO, M.; YANG, L.; HASHIMOTO, Y. Blossom-end rot of tomato plants may not be directly caused by calcium deficiency. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 396, p. 107-114, 1995.

RIBOLDI, L.B.; ARAÚJO, S.H; MURCIA, J.A.G.; DE FREITAS, S.T.; CASTRO, P.R.C. Abscisic acid (ABA) and 24-epibrassinolide regulate blossom-end rot (BER) development in tomato fruit under Ca²⁺ deficiency. **Australian Journal of Crop Science**, Melbourne, 2018. In press.

SAURE, M.C. Blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.): a calcium or a stress-related disorder? **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 90, p. 193-208, 2001.

_____. Calcium translocation to fleshy fruit: its mechanism and endogenous control. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 105, p. 65-89, 2005.

TAYLOR, M.D.; LOCASCIO, S.J. Blossom-end rot: a calcium deficiency. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 27, p. 123-139, 2004.

TISDALE, S.; NELSON, W. **Soil fertility and fertilizers**. 2nd ed. New York: Macmillan, 1966. 694 p.

TUTEJA, N.; MAHAJAN, S. Calcium signaling network in plants. **Plant Signaling & Behavior**, Georgetown, v. 2, n. 2, p. 79-85, 2007.

VILELLA, E.F.; BULL, L.T. Avaliação do crescimento de plantas de milho em função de doses de potássio e estresse hídrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 281-289, 1999.

WENT, F.W. Thermoperiodicity. In MURNEECK, A.E.; WHITE, R.D. (Ed.). **Vernalization and photoperiodism**. Waltham: Chronicle Botany, 1948. p. 145-147.

WHITE, P.J., BROADLEY, M.R. Calcium in plants. **Annals of Botany**, Oxford, v. 92, p. 487-511, 2003.

YERMIYAHU, U.; NIR, S.; BEN-HAYYIM, G.; KAFKAFI, U. Quantitative competition of calcium with sodium or magnesium for sorption sites on plasma membrane vesicles of melon (*Cucumis melo* L.) root cells. **Journal of Membrane Biology**, New York, v. 138, p. 55-63, 1994.

YOSHIDA, S.; IWAMOTO, K.; DEMURA, T.; FUKUDA, H.
Comprehensive analysis of the regulatory roles of auxin
in early transdifferentiation into xylem cells. **Plant
Molecular Biology**, Dordrecht, v. 70, p. 457-469, 2009.

INFORMAÇÕES AOS AUTORES

A Série Produtor Rural é editada desde 1997 pela Divisão de Biblioteca da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP e tem como objetivo publicar textos acessíveis aos produtores com temas diversificados e informações práticas, contribuindo para a Extensão Rural.

Pode publicar

- Pesquisadores e docentes da ESALQ e CENA;
- Alunos cujos textos serão revisados por orientadores ou quem o Presidente da Comissão de Cultura e Extensão designar;
- Demais pesquisadores, porém, com a chancela da Comissão de Cultura e Extensão que avaliará os textos previamente.

Requisitos para publicação

- Texto redigido em Word, com linguagem simples, acessível e didática a ser encaminhado para: referencia.esalq@usp.br
- Ilustrações e figuras em alta resolução, facilitando a compreensão do texto.

www.esalq.usp.br/biblioteca/publicacoes-a-venda/serie-produtor-rural

COMO ADQUIRIR

Para adquirir as publicações, depositar no Banco do Brasil, Agência 0056-6, C/C 306.344-5 o valor referente ao(s) exemplare(s), acrescido de R\$ 7,50 para o envio, posteriormente enviar via fax (19) 3429-4340, e-mail ou correspondência o comprovante de depósito, o(s) título(s) da(s) publicação(ões), nome e endereço completo para fazermos o envio, ou através de cheque nominal à Universidade de São Paulo - ESALQ.

Acesse nosso site

www.esalq.usp.br/biblioteca

Série Produtor Rural

USP/ESALQ/DIBD

A Série Produtor Rural é editada desde 1997 pela Divisão de Biblioteca da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP e tem como objetivo publicar textos acessíveis aos produtores com temas diversificados e informações práticas, contribuindo para a Extensão Rural.