

## COMO A MUDANÇA CLIMÁTICA PODERÁ AFETAR AS DOENÇAS DAS HORTALIÇAS?

Raquel Ghini  
Embrapa Meio Ambiente  
Caixa Postal 69, CEP 13820-000, Jaguariúna, SP  
Bolsista do CNPq  
e-mail: raquel@cnpma.embrapa.br

### Introdução

As atividades antrópicas estão alterando as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, causando mudanças no clima do planeta (IPCC, 2007). O efeito estufa é um processo natural que permite a manutenção da temperatura necessária para o estabelecimento e sustento da vida na Terra. O vapor de água, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), o ozônio ( $\text{O}_3$ ) e outros gases presentes na atmosfera, denominados gases de efeito estufa, retêm parcialmente a radiação térmica que é emitida quando a radiação solar atinge a superfície do planeta. As atividades antrópicas, intensificadas após a Revolução Industrial, no final do século XVIII, caracterizam-se pela emissão de gases na atmosfera devido ao uso dos recursos naturais, como a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento. Como consequência, há uma maior retenção de radiação que resulta na intensificação do efeito estufa, elevando a temperatura média da superfície do planeta, além de outros efeitos. Durante o século XX, houve um aumento na temperatura média da superfície do planeta, de aproximadamente  $7,4^\circ\text{C}$ . Porém, esse aumento não foi homogêneo, isto é, algumas regiões do planeta apresentaram maiores incrementos de temperatura que outras. Recentemente, o fenômeno tem se acelerado, pois as maiores temperaturas médias anuais foram registradas nos últimos anos (IPCC, 2007).

Rockström *et al.* (2009) identificaram e quantificaram limites planetários que não devem ser transpostos com a finalidade de evitar danos ambientais. Embora muitos

sistemas do planeta atuem de forma não linear, muitas vezes abrupta, os autores estabeleceram limites nos quais podem ocorrer sérios danos para o ser humano. Dos sistemas propostos, três se encontram operando acima do limite proposto: mudança climática, perda de biodiversidade e ciclo do nitrogênio (Tabela 1). Para quantificar os limites da ação antrópica sobre o clima do planeta, os autores propuseram o valor de 350 ppmv de concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> e o forçamento radiativo de 1 W/m<sup>2</sup> acima dos níveis pré-industriais. Transgredir esses limites causará danos irreversíveis ao clima do planeta, como perda de significativas áreas cobertas com gelo, aumento do nível do mar e mudanças abruptas em sistema florestais e agrícolas. Atualmente, a concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> encontra-se por volta de 387 ppmv e o forçamento radiativo superou 1,5 W/m<sup>2</sup> acima dos níveis pré-industriais. Quanto aos demais sistemas alterados, vale ressaltar que a extinção de espécies é um fenômeno natural, porém os níveis observados atualmente estão 100 a 1000 vezes superiores à taxa natural de extinção. Além deste, as quantidades de nitrogênio adicionadas no sistema com a finalidade de adubação de culturas já são suficientes para modificar o ciclo desse elemento no planeta. Boa parte desse nitrogênio acaba poluindo o solo e a água, liberando numerosos gases para a atmosfera. O N<sub>2</sub>O, por exemplo, é um dos mais importantes gases de efeito estufa, além do CO<sub>2</sub>.

A mudança climática tem se manifestado de diversas formas, dentre as quais se destaca o “aquecimento global”, termo usado para identificar o fenômeno. Porém, também estão sendo observadas maior frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, alterações na precipitação, perturbações nas correntes marítimas, retração de geleiras e elevação do nível dos oceanos (IPCC, 2007). Quanto à temperatura, estão comprovados: aumento da temperatura superficial da Terra e temperatura do ar, aumento da temperatura da troposfera, aumento da temperatura dos oceanos, pelo menos, até a

profundidade de 3000 m, degelos dos glaciais, degelo das calotas glaciais (especialmente no Hemisfério Norte) e redução na frequência de dias frios e noites frias. Quanto ao ciclo hidrológico, comprovadamente já ocorreram: aumentos de precipitação na parte leste da América do Norte e do Sul, norte da Europa e norte e centro da Ásia; secas mais intensas e longas nos trópicos e subtropicais; aumento da frequência de chuvas intensas; aumento da frequência de eventos extremos e aumento da quantidade de vapor de água na atmosfera (IPCC, 2007).

Os microrganismos estão entre os primeiros organismos a demonstrar os efeitos da mudança climática devido às numerosas populações, facilidade de multiplicação e dispersão, além do curto tempo entre gerações. Dessa forma, constituem um grupo fundamental de indicadores biológicos para o estudo dos impactos da mudança climática. Além disso, a importância de fitopatógenos e de outros microrganismos atuantes no agroecossistema faz com que o assunto assumam grande importância para garantir a sustentabilidade dos sistemas.

No caso das hortaliças, as doenças abióticas, causadas por falta ou excesso de um determinado fator do ambiente deverão consistir num dos principais problemas nas próximas décadas. O aumento da frequência de extremos de temperatura ou precipitação, em limites acima ou abaixo dos tolerados pelas plantas, certamente causará graves prejuízos se não forem adotadas medidas de adaptação. Porém, a presente discussão abordará somente os impactos da mudança climática sobre doenças bióticas.

### **Impactos sobre doenças de plantas**

O ambiente pode influenciar o crescimento e a suscetibilidade da planta hospedeira, a multiplicação, a sobrevivência e as atividades do patógeno, assim como a interação

entre a planta hospedeira e o patógeno. Por esse motivo, a mudança climática constitui uma séria ameaça especialmente à agricultura, pois podem promover significativas alterações na ocorrência e severidade de doenças de plantas. Tais alterações podem representar graves consequências econômicas, sociais e ambientais. A análise desses efeitos é fundamental para a adoção de medidas mitigadoras, com a finalidade de evitar prejuízos futuros (Chakraborty & Pangga, 2004; Ghini, 2005).

O clássico triângulo de doença ilustra um dos paradigmas da Fitopatologia, que estabelece as condições para o desenvolvimento de doenças, isto é, a interação entre o hospedeiro suscetível, o patógeno virulento e o ambiente favorável. Consequentemente, a doença não ocorre se houver eliminação de um dos componentes. Outro aspecto a ser considerado é que a alteração de um determinado fator climático pode ter efeitos positivos, em uma das partes do triângulo da doença, e negativos, em outra. Além disso, os efeitos podem ser também contrários nas diversas fases do ciclo de vida do patógeno (Coakley, 1995). Assim sendo, somente a análise completa do sistema pode definir se a doença será estimulada ou não.

O ambiente influencia todos os estádios de desenvolvimento, tanto do patógeno quanto da planta hospedeira, assim como da doença, nas diversas etapas do ciclo das relações patógeno-hospedeiro. Além desses, também pode afetar outros organismos com os quais a planta e o patógeno interagem, como microrganismos endofíticos, saprófitas ou antagonistas. Assim, numa área onde tanto a planta hospedeira como o patógeno estão presentes, o aparecimento e o desenvolvimento da doença são determinados pelo ambiente. Importantes doenças podem se tornar secundárias se as condições ambientes não forem favoráveis. Discussões sobre os impactos da mudança climática sobre doenças de importantes culturas do Brasil, dentre elas algumas hortaliças, foram publicadas no livro editado por Ghini & Hamada (2008).

A mudança global pode ter efeitos diretos e indiretos tanto sobre os patógenos quanto sobre as plantas hospedeiras e a interação de ambos. Sobre os microrganismos fitopatogênicos, a distribuição geográfica, por exemplo, é determinada pela gama de temperaturas nas quais o microrganismo pode crescer, mas muitas espécies prevalecem somente em regiões onde a temperatura e outros fatores climáticos estão próximos aos valores ótimos para permitir um rápido desenvolvimento. A distribuição temporal também pode ser afetada. Diversos patógenos, especialmente os que infectam folhas, apresentam flutuações quanto à incidência e à severidade durante o ano, que podem ser freqüentemente atribuídas às variações de clima. Muitos desses patógenos são favorecidos pelo aumento da umidade durante a estação de crescimento, devido ao aumento da produção de esporos. Por outro lado, doenças como os oídios são favorecidas por condições de baixa umidade. As condições favoráveis são específicas para cada patossistema e, assim, não podem ser generalizadas.

Em muitos casos, o aumento da precipitação permite uma maior dispersão de propágulos por gotas de chuva. A redução do número de dias de chuva durante o verão, por exemplo, pode diminuir a dispersão de diversos patógenos. Os ventos também exercem importante papel na disseminação de propágulos, tanto à curta como à longa distância. Fatores relacionados com a turbulência do ar, intensidade e direção dos ventos podem influenciar a liberação, o transporte e a deposição do inóculo.

Os efeitos diretos da mudança climática também podem ser observados na fase de sobrevivência dos patógenos. Patógenos de plantas anuais, por exemplo, necessitam suportar longos períodos de tempo sem tecido da planta hospedeira disponível. Nesses casos, a fase de sobrevivência é fundamental para garantir a presença de inóculo para o ciclo seguinte da doença. As condições durante a estação de inverno, por exemplo, são

importantes para determinar o sucesso da sobrevivência saprofítica (Lonsdale & Gibbs, 1996).

A mudança climática também pode ter efeitos diretos sobre a planta hospedeira. Um dos mecanismos envolvidos é a alteração da predisposição da planta, que consiste na modificação da sua suscetibilidade às doenças por fatores externos a ela, isto é, fatores não genéticos, que atuam antes da infecção (Schoeneweiss, 1975).

Orth *et al.* (1990) estudaram os efeitos do UV-B em três cultivares de pepino, antes e após inoculação com *Colletotrichum lagenarium* e *Cladosporium cucumerinum*. O tratamento antes da inoculação aumentou a suscetibilidade das plantas aos dois patógenos, indicando a alteração de mecanismos de defesa da planta. O tratamento pós-inoculação não apresentou os mesmos resultados. Os autores concluíram que os efeitos do UV-B foram mais acentuados na planta que nos patógenos, já que não houve diferenças entre a severidade das doenças em plantas que receberam o tratamento somente antes da inoculação e as que receberam antes e após a inoculação.

O desenvolvimento de uma planta é resultante da interação entre o seu genótipo e o ambiente. Assim, as mudanças no clima interferem na morfologia, fisiologia e metabolismo das plantas, resultando em alterações na ocorrência e severidade de doenças. Alterações morfológicas e fisiológicas que podem ocorrer com o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> e afetar as interações patógeno-hospedeiro incluem redução da densidade de estômatos, maior acúmulo de carboidratos nas folhas, maior camada de ceras e de células epidermais, com aumento no teor de fibras, produção de papilas e acúmulo de silício, nos locais de penetração de apressórios, e aumento do número de células do mesófilo (Chakraborty *et al.*, 2000). A elevação da concentração de CO<sub>2</sub> altera o início e a duração dos estádios de desenvolvimento do patógeno. O período latente, isto é, o período entre a inoculação e a esporulação, pode ser alterado, assim

como a capacidade de multiplicação de alguns patógenos. Dessa forma, os mecanismos de resistência das plantas podem ser quebrados mais rapidamente, como resultado do desenvolvimento acelerado das populações dos patógenos (Chakraborty, 2001).

Manning & Tiedemann (1995) analisaram os efeitos potenciais do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> sobre doenças de plantas, baseados nas respostas das plantas nesse novo ambiente. O aumento de produção de biomassa da planta, isto é, o aumento de brotações, folhas, flores e frutos, representa uma maior quantidade de tecido que pode ser infectado pelos fitopatógenos. O aumento do teor de carboidratos pode estimular o desenvolvimento de patógenos dependentes de açúcares, como ferrugens e oídios. O aumento da densidade da copa e tamanho das plantas pode promover um maior crescimento, esporulação e disseminação de fungos foliares, que requerem alta umidade do ar, mas não chuva, como as ferrugens, oídios e fungos necrotróficos. O aumento de resíduos das culturas pode significar melhores condições para a sobrevivência de patógenos necrotróficos. A redução da abertura de estômatos pode inibir patógenos que penetram por essa abertura, como ferrugens, míldios e alguns necrotróficos. A redução do período de vegetação da planta, com colheita e senescência precoces, pode diminuir o período de infecção de patógenos biotróficos e aumentar os necrotróficos. O aumento da biomassa de raízes amplia a quantidade de tecido a ser infectado por micorrizas ou patógenos veiculados pelo solo, mas pode compensar a perda causada pelos patógenos. A maior exsudação das raízes pode estimular tanto patógenos quanto antagonistas (promotores de crescimento da planta).

No Brasil, a aplicação de CO<sub>2</sub> em cultivo protegido foi estudado para algumas hortaliças, como tomate (Cararo & Duarte, 2002), pimentão (Furlan *et al.*, 2002; Rezende *et al.*, 2003), melão (Pinto *et al.*, 2001) e alface (Furlan *et al.*, 2001), mas não foram avaliados os efeitos sobre as doenças. Liu *et al.* (2008), na Itália, estudaram o

efeito do aumento da concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> e da temperatura sobre a infecção de abobrinha italiana (*Cucurbita pepo*) com oídio (*Podosphaera xanthii*) e verificaram que o gás não teve efeito sobre a doença; porém, quando associado com aumento da temperatura, resultou no aumento do desenvolvimento e da severidade do oídio. O efeito do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> associado ao aumento da concentração de O<sub>3</sub> sobre a requeima da batata foi estudado por Pressl *et al.* (2007).

Osozawa *et al.* (1994) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar os efeitos do CO<sub>2</sub> da fase gasosa em um solo supressivo e outro conducente à hérnia das crucíferas, causada por *Plasmodiophora brassicae* em repolho e verificaram que a concentração do gás do solo conducente era duas a quatro vezes maior que a do solo naturalmente supressivo à doença.

Outros organismos que interagem com o patógeno e a planta hospedeira também podem ser afetados pela mudança climática, resultando em modificações na incidência das doenças. Doenças que requerem insetos ou outros vetores podem sofrer uma nova distribuição geográfica ou temporal, que será resultante da interação ambiente-planta-patógeno-vetor (Sutherst *et al.*, 1998). Aumentos na temperatura ou incidência de secas podem estender a área de ocorrência da doença para regiões onde o patógeno e a planta estão presentes, mas o vetor ainda não atuava.

### **Casos de alterações causadas pela mudança climáticas sobre problemas fitossanitários**

Ainda há um pequeno número de casos comprovados de alteração na ocorrência de problemas fitossanitários em decorrência da mudança climática. Esse fato é devido à necessidade de registro de mudança na ocorrência de pragas ou doenças por um período relativamente longo, com significativa correlação com alguma variável climática

alterada em decorrência da mudança climática. A ausência de séries históricas de problemas fitossanitários é outra razão para o pequeno número de casos comprovados. Além disso, é sabido que diversos fatores, além do clima, causam flutuações nas populações de patógenos e pragas, como por exemplo, tratos culturais, nutrição da planta, cultivares utilizadas, entre outros, dificultando a correlação entre a mudança climática e os problemas fitossanitários.

Uma das evidências em ecossistema natural é o caso de *Dothistroma septosporum*, causador de queima das acículas em *Pinus contorta* var. *latifolia*, na florestas da British Columbia no Canadá. O primeiro relato da doença data do início dos anos 1960, sendo que entre 1984 e 1986 foram observados árvores com sintomas da queima das acículas em 10 ha. Woods *et al.* (2005) avaliaram uma área de 40898 ha e observaram que 37664 ha apresentavam plantas infectadas, com árvores mortas em 2741 ha. Os autores afirmam que a epidemia coincide com aumento da frequência de chuvas de verão na região. Mais recentemente, Kurz *et al.* (2008) relataram que epidemias do besouro *Dendroctonus ponderosae*, causadas pelas alterações de precipitação e aumento da temperatura, estão resultando no aumento de emissões de gases de efeito estufa pela floresta. O inseto parasita as árvores, levando-as à morte e à decomposição, liberando o carbono para a atmosfera. Com a mudança climática traduzida pelo aumento da temperatura e redução da precipitação, houve o aumento da área favorável ao desenvolvimento à praga e as projeções indicam que o crescimento da floresta não será suficiente para compensar a quantidade de emissões.

O declínio do *Pinus sylvestris* nos Alpes italianos e suíços é outra evidência de alteração de problemas fitossanitários em decorrência da mudança climática. Dobbertin *et al.* (2007) correlacionaram séries climáticas históricas da região e a incidência de declínio nas árvores e concluíram que a seca predispôs as árvores ao ataque de besouros e as

altas temperaturas da primavera e do verão favoreceram o desenvolvimento dos insetos, o qual contribuiu para a alta taxa de mortalidade.

Utilizando dados de 69 anos de incidência de requeima da batata na Finlândia, Hannukkala *et al.* (2007) associaram epidemias da doença com a mudança climática e com a ausência de rotação de cultura. O clima se tornou mais favorável à doença no final da década de 90, resultando em um aumento da venda de fungicidas de aproximadamente quatro vezes, de 1980 a 2002.

### **Considerações finais**

Os efeitos da mudança climática sobre os danos causados pelas doenças são determinados pelas interações de um grande número de fatores que, direta ou indiretamente, influenciam a ocorrência e a severidade das doenças. Algumas regiões podem se tornar menos aptas para determinadas hortaliças e causar a necessidade de migração para novas áreas, onde provavelmente os patógenos deverão migrar também. Mas, um novo cenário fitossanitário será estabelecido a partir do novo balanço entre espécies resultante da mudança climática (Chakraborty *et al.*, 2008).

Métodos de controle de doenças, como o controle químico, também devem ser alterados (Ghini & Hamada, 2008). Cheng & McCarl (2001) realizaram uma análise de regressão entre o uso de agrotóxicos (fornecidos pelo USDA) e as variações do clima em diversas localidades dos Estados Unidos, a partir de dados climáticos disponibilizados pelo NOAA. A intenção foi quantificar as alterações no gasto com agrotóxicos no clima futuro, por meio de uma avaliação econômica, tendo como premissa o fato do aumento da incidência de um determinado problema fitossanitário resultar em maiores gastos com o controle químico e vice-versa. As culturas estudadas foram milho, algodão, batata, soja e trigo. Diversos herbicidas e inseticidas foram incluídos no trabalho, porém

os fungicidas (chlorotalonil, mancozeb, maneb e metalaxyl) são os usados somente na cultura da batata. Os autores concluíram que aumentos na precipitação causarão aumentos no custo de agrotóxicos, por área, para as cinco culturas. Aumentos na temperatura causarão incrementos no custo de agrotóxicos para as culturas de batata, milho, soja e algodão, porém haverá redução para o trigo.

A mudança climática representa um desafio global e interdisciplinar. As doenças de plantas representam sérios impactos econômicos para o agronegócio, colocando em risco a sustentabilidade dos cultivos, devido às perdas na produtividade e aos custos do manejo fitossanitário. A abordagem desse problema deve ser por meio de trabalhos interdisciplinares, que evitam a duplicidade de esforços e facilitam a divulgação de informações, para a obtenção de medidas de adaptação.

### **Referências bibliográficas**

CARARO, D. C.; DUARTE, S. N. Injeção de CO<sub>2</sub> e lâminas de irrigação em tomateiro sob estufa. **Horticultura brasileira**, v. 20, n. 3, p. 432-437, 2002.

CHAKRABORTY, S. Effects of climate change. In: WALLER, J. M. L.; WALLER, S. J. (Ed.). **Plant pathologist's pocketbook**. Wallingford: CAB International, 2001. p. 203-207.

CHAKRABORTY, S.; PANGGA, I. B. Plant disease and climate change. In: Gillings, M.; Holmes, A. **Plant microbiology**. London: BIOS Scientific Publishers, 2004. cap.9, p.163-180.

CHAKRABORTY, S.; TIEDEMANN, A. V.; TENG, P. S. Climate change: potential impact on plant diseases. **Environmental Pollution**, v. 108, p. 317-326, 2000.

CHAKRABORTY, S.; LUCK, J.; HOLLAWAY, G.; FREEMAN, A.; NORTON, R.; GARRETT, K. A.; PERCY, K.; HOPKINS, A.; DAVIS, C.; KARNOSKY, D. F. Impacts of global change on diseases of agricultural crops and forest trees. **CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, v. 3, p. 1-15, 2008.

CHEN, C. C.; MCCARL, B. A. An investigation of the relationship between pesticide usage and climate change. **Climatic Change**, v. 50, n. 4, p. 475-487, 2001.

COAKLEY, S. M. Biospheric change: will it matter in plant pathology? **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 17, p. 147-153, 1995.

DOBBERTIN, M.; WERMELINGER, B.; BIGLER, C.; BÜRGI, M.; CARRON, M.; FORSTER, B.; GIMMI, U.; RIGLING, A. Linking increasing drought stress to scots pine mortality and bark beetle infestations. **The Scientific World Journal**, v. 7, p. 231-239, 2007.

FURLAN, R. A., ALVES, D. R. B., FOLEGATTI, M. V., BOTREL, T. A.; MINAMI, K. Dióxido de carbono aplicado via água de irrigação na cultura da alface. **Horticultura Brasileira**, v. 19, n. 1, p. 25-29, 2001.

FURLAN, R. A., REZENDE, F. C., ALVES, D. R. B.; FOLEGATTI, M. V. Lâmina de irrigação e aplicação de CO<sub>2</sub> na produção de pimentão cv. Mayata, em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 547-550, 2002.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2005, 104p.

GHINI, R.; HAMADA, E. **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa/SCT, 2008, 331p.

HANNUKKALA, A. O.; KAUKORANTA, T.; LEHTINEN, A.; RAHKONEN, A. Late-blight epidemics on potato in Finland, 1933–2002; increased and earlier occurrence of epidemics associated with climate change and lack of rotation. **Plant Pathology**, v. 56, p. 167-176, 2007.

IPCC. **Climate change 2007: the physical science basis**. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. 996p.

JWA, N. S.; WALLING, L. L. Influence of elevated CO<sub>2</sub> concentration on disease development in tomato. **New Phytologist**, v. 149, n. 3, p. 509-518, 2001.

KURZ, W. A.; DYMOND, C. C.; STINSON, G.; RAMPLEY, G. J.; NEILSON, E. T.; CARROLL, A. L.; EBATA, T.; SAFRANYIK, L. Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. **Nature**, v. 452, p. 987-990, 2008.

LIU, J. Z.; TITONE, P.; GARIBALDI, A.; GULLINO, M. L. Effects of elevated CO<sub>2</sub> and temperature on infection of zucchini by powdery mildew. **Journal of Plant Pathology**, v. 90 (2, Supplement), p. 106, 2008.

LONSDALE, D.; GIBBS, J. N. Effects of climate change on fungal diseases of trees. In: FRANKLAND, J.C.; MAGAN, N.; GADD, G.M. (Ed.). **Fungi and environmental change**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. p. 1-19.

MANNING, W. J.; TIEDEMANN, A. V. Climate change: potential effects of increased atmospheric carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), ozone (O<sub>3</sub>), and Ultraviolet-B (UV-B) radiation on plant diseases. **Environmental Pollution**, v. 88, n. 2, p. 219-245, 1995.

ORTH, A. B.; TERAMURA, A. H.; SISLER, H. D. Effects of ultraviolet-B radiation on fungal disease development in *Cucumis sativus*. **American Journal of Botany**, v. 77, n. 9, p. 1188-1192, 1990.

OSOZAWA, S.; IWAMA, H.; KUBOTA, T. Effect of soil aeration on the occurrence of clubroot disease of crucifers. **Soil Sci. Plant. Nutr.**, v. 40, n. 3, p. 445-455, 1994.

PINTO, J. M., BOTREL, T. A., MACHADO, E. C.; FEITOSA FILHO, J. C. Aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação em relação à produtividade de meloeiro. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 1, p. 33-38, 2001.

PLESSL, M., ELSTNER, E. F., RENNENBERG, H., HABERMEYER, J.; HEISER, I. Influence of elevated CO<sub>2</sub> and ozone concentrations on late blight resistance and growth of potato plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 60, p. 447-457, 2007.

REZENDE, F. C.; FRIZZONE, J. A.; OLIVEIRA, R. F. D. CO<sub>2</sub> and irrigation in relation to yield and water use of the bell pepper crop. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 1, p. 7-12, 2003.

ROCKSTRÖM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, Å.; CHAPIN, F. S.; LAMBIN, E. F.; LENTON, T. M.; SCHEFFER, M.; FOLKE, C.; SCHELLNHUBER, H. J.; NYKVIST, B.; WIT, C. A. D.; HUGHES, T.; LEEUW, S. V. D.; RODHE, H.; SÖRLIN, S.; SNYDER, P. K.; COSTANZA, R.; SVEDIN, U.; FALKENMARK, M.; KARLBERG, L.; CORELL, R. W.; FABRY, V. J.; HANSEN, J.; WALKER, B.; LIVERMAN, D.; RICHARDSON, K.; CRUTZEN, P.; FOLEY, J. A. A safe operating space for humanity. **Nature**, v. 461, p. 472-475, 2009.

SCHOENEWEISS, D. F. Predisposition, stress, and plant disease. **Annual Review of Phytopathology**, v. 11, p. 193-211, 1975.

SUTHERST, R.W.; INGRAM, J.S.I.; SCHERM, H. Global change and vector-borne diseases. **Parasitology Today**, v. 14, p. 297-299, 1998.

WOODS, A.; COATES, K. D.; HAMANN, A. Is an unprecedented *Dothistroma* needle blight epidemic related to climate change? **BioScience**, v. 55, p. 761-769, 2005.



**Figura 1.** Triângulo de doença: interação ente os elementos fundamentais que determinam a ocorrência de uma doença de planta.

**Tabela 1.** Limites planetários adaptados de Rockström *et al.* (2009).

<b>Processos do planeta</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Limite Proposto</b>	<b>Situação atual</b>	<b>Valor Pré-industrial</b>
Mudança climática	Concentração de CO <sub>2</sub> atmosférico (ppmv)	350	387	280
	Mudança no forçamento radiativo (W/m <sup>2</sup> )	1	1,5	0
Taxa de perda da biodiversidade	Taxa de extinção (número de espécies/milhão de espécies por ano)	10	> 100	0,1 – 1
Ciclo do nitrogênio	Quantidade de N <sub>2</sub> removido da atmosfera para uso humano (milhões de ton/ano)	35	121	0
Ciclo do fósforo	Quantidade de P que flui para os oceanos (milhões ton/ano)	11	8,5 – 9,5	-1
Destruição da camada de ozônio	Concentração de ozônio (Unidade Dobson - UD)	276	283	290
Acidificação dos oceanos	Estado de saturação média global de aragonita na água da superfície do mar	2,75	2,9	3,44
Uso global de água doce	Consumo de água doce por seres humanos (km <sup>3</sup> /ano)	4000	2600	415
Mudança no uso da terra	Porcentagem de cobertura global da terra convertida em terras	15	11,7	Baixo

	agrícolas			
Carga de aerossol atmosférico	Concentração de partículas na atmosfera, numa base regional	A ser determinado		
Poluição química	Por exemplo, a quantidade emitida ou a concentração de poluentes orgânicos persistentes, plásticos, metais pesados e resíduos nucleares, o ambiente global ou os efeitos sobre o ecossistema e do seu funcionamento	A ser determinado		