

Capítulo 19

---

**Impacto potencial das mudanças climáticas  
sobre o controle químico de  
doenças de plantas**

Raquel Ghini

## Introdução

O controle químico de doenças de plantas constitui, para muitos problemas fitossanitários, a principal medida de controle. A sociedade tem pressionado os mercados em favor de alimentos produzidos sem o uso de agrotóxicos, ou com certificados de que esses foram utilizados adequadamente, e, ao mesmo tempo, pressiona por maiores produtividades. Em curto prazo, o controle químico deverá continuar a ser um dos responsáveis pela alta produtividade de várias culturas. Tal prática é essencial quando estão esgotadas todas as medidas preventivas, como a rotação de culturas, a escolha da época e do local de plantio, ou quando não há variedades resistentes ou outros métodos alternativos economicamente viáveis para o controle da doença.

Quando utilizado adequadamente, trata-se de um método eficaz, com resultados imediatos e consistentes. Por essas características, se comparado com outros métodos de controle de doenças de plantas, o controle químico deverá ser o menos afetado pelas mudanças climáticas. O controle químico é mais flexível e móvel, segundo Stacey (2003), que os métodos usados na agricultura orgânica, cujas características dificultam mudanças rápidas na população da praga ou do patógeno. O modo de ação dos diversos ingredientes ativos, de um modo geral, depende pouco do ambiente, porém outros fatores envolvidos no uso e na eficiência dos produtos podem ser afetados.

As mudanças climáticas causarão alterações na distribuição geográfica e época de ocorrência de doenças e, como consequência, o controle químico deverá acompanhar a nova realidade. Mudanças na temperatura e precipitação podem alterar a dinâmica de resíduos de fungicidas na parte aérea das plantas e a degradação dos produtos pode ser modificada. Alterações na morfologia ou fisiologia das plantas, resultantes do crescimento em atmosfera com maior concentração de CO<sub>2</sub> ou diferentes condições de temperatura e precipitação, podem afetar a absorção, o translocamento e o metabolismo de fungicidas sistêmicos. Além disso, as mudanças no crescimento das plantas podem alterar o período de maior suscetibilidade das plantas aos patógenos, o que poderá determinar um novo calendário de aplicação de fungicidas (COAKLEY et al., 1999; CHAKRABORTY; PANGGA, 2004; PRITCHARD; AMTHOR, 2005). Poucos trabalhos discutem como o controle químico será afetado, apesar da importância de todos esses impactos.

Este capítulo abordará os efeitos das mudanças climáticas sobre o mercado de fungicidas e sobre a eficácia e o uso dos produtos, com a finalidade de demonstrar a necessidade de estudos a respeito do manejo de doenças de plantas nas próximas décadas.

## Alterações no mercado de fungicidas

O mercado de agrotóxicos envolve grandes interesses econômicos. No Brasil, no ano de 2004, o valor comercializado foi de, aproximadamente, 4,5 bilhões de dólares, dos quais os fungicidas foram responsáveis por 31 %, os herbicidas representaram 40 %, e os inseticidas, 24 % (SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA DEFESA AGRÍCOLA, 2004). Trata-se de um mercado extremamente dinâmico, sujeito às alterações decorrentes do aparecimento de novas doenças, como as epidemias de ferrugem-da-soja (causada por *Phakopsora pachyrhizi*) que foram responsáveis pelo aumento das vendas nos últimos anos, assim como as causadas por flutuações nos preços dos produtos agrícolas, que podem estimular ou retrair as vendas. A quantidade de produto comercial, ou ingrediente ativo, ou valor de vendas de fungicidas para cada cultura varia de ano para ano, como resultado da influência de todos esses fatores no mercado (Tabelas 1 e 2). Também há variação quanto aos produtos químicos comercializados, devido à descoberta de novas moléculas ou à retirada de produtos de pouco interesse do mercado.

Cheng e McCarl (2001) realizaram uma análise de regressão entre o uso de agrotóxicos (fornecidos pelo United States Department of Agriculture - Usda) e as variações do clima em diversas localidades dos Estados Unidos, a partir de dados climáticos disponibilizados pela National Oceanic Atmospheric Administration (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.

Alterações no cenário fitossanitário no Brasil devem resultar em mudanças no consumo de fungicidas nas diversas culturas. A soja, por exemplo, deteve mais de 60 % do valor comercializado com fungicidas no País no ano de 2004. Qualquer alteração na ocorrência de doenças dessa cultura terá reflexos imediatos na comercialização de fungicidas. Se, no futuro, ocorrerem condições climáticas desfavoráveis à ocorrência da ferrugem-asiática, por exemplo, certamente causarão alterações no mercado de fungicidas.

**Tabela 1.** Quantidade de ingrediente ativo de fungicidas (t) comercializados no Brasil, no período de 2000 a 2004.

Cultura	2000	2001	2002	2003	2004
Algodão	518	565	554	526	1.107
Alho	33	36	51	54	45
Amendoim	43	48	103	87	132
Arroz irrigado	97	112	68	152	85
Arroz sequeiro	89	79	65	133	146
Banana	98	25	16	15	47
Batata inglesa	2.797	2.953	2.642	2.872	3.060
Cacau	42		7	0	
Café	3.680	1.762	1.302	1.676	1.947
Cana-de-açúcar		1	6	6	1
Cebola	121	216	170	133	204
Citros	2.130	2.382	2.485	2.933	3.101
Feijão	821	946	1.042	978	974
Floricultura	57	93	88	181	95
Fruticultura	385	569	517	516	580
Fumo	45	80	173	199	180
Horticultura	948	1.209	1.097	1.167	1.099
Maçã	846	1.200	962	905	1.145
Melão	37	52	86	52	50
Milho	29	46	43	43	253
Reflorestamento			1		
Soja	1.626	2.049	2.409	2.842	6.879
Tomate rasteiro	789	605	596	678	653
Tomate envarado	1.125	1.119	998	1.285	1.324
Trigo	299	430	326	563	690
Uva	465	723	558	643	538
<b>Tratamento de sementes</b>					
Algodão	31	29	26	34	56
Arroz	10	18	11	62	89
Feijão	14	25	24	24	23
Milho	129	119	76	54	99
Soja	934	601	453	483	903
Trigo	26	32	27	44	73
Outras sementes	8	7	3	1	1
<b>Outras culturas</b>	800	476	277	22	52
<b>Total</b>	19.072	18.607	17.262	19.363	25.631

**Tabela 2.** Valor de fungicidas (US\$1.000) comercializados no Brasil no período de 2000 a 2004.

<b>Cultura</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>
Algodão	18.498	20.607	19.890	51.748	72.971
Alho	363	341	719	1.196	720
Amendoim	1.419	1.413	2.365	3.307	6.776
Arroz irrigado	3.085	2.527	1.497	5.564	6.821
Arroz sequeiro	2.565	2.310	2.286	4.622	6.499
Banana	1.514	1.710	589	1.554	5.056
Batata inglesa	34.963	35.179	29.515	34.640	43.518
Cacau	291		39	0	
Café	65.701	20.648	17.185	32.614	57.908
Cana-de-açúcar		40	228	62	48
Cebola	2.102	3.751	2.165	1.795	3.542
Citros	14.292	12.960	13.632	20.249	23.224
Feijão	25.697	31.679	33.957	39.187	39.898
Floricultura	1.268	1.241	897	1.470	1.382
Fruticultura	5.471	6.730	5.175	6.887	9.758
Fumo	735	903	1.455	1.737	1.768
Horticultura	17.467	18.358	14.057	16.442	20.911
Maçã	9.406	13.854	10.343	11.168	15.411
Melão	831	1.454	1.662	1.146	1.754
Milho	2.613	3.501	2.912	5.850	8.261
Reflorestamento			16	3	47
Soja	64.078	77.237	116.189	346.505	877.578
Tomate rasteiro	10.533	6.677	6.658	7.403	7.952
Tomate envarado	14.392	12.114	10.215	14.587	18.593
Trigo	36.086	47.441	40.674	68.156	94.557
Uva	6.415	8.430	6.212	7.905	8.219
<b>Tratamento de sementes</b>					
Algodão	1.321	1.379	977	1.911	3.058
Arroz	363	937	538	3.310	2.941
Feijão	454	677	976	983	930
Milho	1.849	2.142	1.004	928	3.499
Soja	21.723	14.342	11.054	15.907	36.239
Trigo	3.958	4.330	2.416	4.593	6.661
Outras sementes	332	502	80	10	675
<b>Outras culturas</b>	10.633	7.192	2.815	105	1.002
<b>Total</b>	<b>380.418</b>	<b>362.606</b>	<b>360.392</b>	<b>713.544</b>	<b>1.388.177</b>

Entretanto, o principal impacto das mudanças climáticas globais sobre o controle químico deverá ser de ordem cultural. O fato de toda a humanidade estar sofrendo as conseqüências das atividades antrópicas, na exploração do planeta, despertará a conscientização de que tal atividade deve ser rigorosamente realizada de forma sustentável. Certamente deverão aumentar as pressões da sociedade pelo uso de métodos não químicos para o controle de doenças de plantas.

## Mudanças na eficácia de fungicidas

Os fungicidas podem ser classificados, segundo o princípio em que se fundamenta sua aplicação, em erradicantes ou de contato, protetores ou residuais e curativos ou terapêuticos (KIMATI, 1995). Os erradicantes atuam diretamente sobre a fonte de inóculo, entre eles estão o dazomet, metam sódio e outros. Esses produtos são empregados principalmente no tratamento do solo, de sementes e de plantas que entram em repouso vegetativo no período do inverno. Por se tratarem de produtos extremamente tóxicos, a eficácia dos erradicantes deve ser pouco alterada com as mudanças climáticas.

Os fungicidas protetores atuam formando uma camada protetora superficial nas partes suscetíveis do hospedeiro antes da deposição do inóculo, sem serem absorvidos pela planta. Os fungicidas sistêmicos, por outro lado, penetram e translocam do local de aplicação para outras partes da planta, o que permite a ação curativa, além da protetora, pois boa parte do produto não penetra e fica depositada na superfície da planta (KIMATI, 1995).

Os mapas dos cenários futuros do clima do Brasil indicam, de modo geral, redução da precipitação (Capítulo 2), o que pode levar à redução da lavagem dos fungicidas e ao melhor controle. Entretanto, as interações de frequência e intensidade de precipitação e dinâmica de fungicidas são complexas. Para fungicidas protetores, a ocorrência de chuvas intensas promove a lavagem do produto e, conseqüentemente, a redução da eficácia. Por outro lado, para fungicidas sistêmicos, os resultados podem ser variáveis. Pode resultar até mesmo em aumento de controle da doença por causa da redistribuição do ingrediente ativo na planta, como descrito no trabalho de Schepers (1996). O autor verificou que ocorreu aumento da eficácia de fluazinam no controle de *Phytophthora infestans* em batata, após a ocorrência de precipitação.

A ocorrência de ventos pode afetar a aplicação dos produtos, e temperaturas extremas podem alterar a ação dos produtos, ou causar fitotoxicidade (STRAND, 2000). A redução da umidade do ar pode reduzir

a redistribuição dos fungicidas protetores, fato importante para garantir uma melhor cobertura da superfície da planta. Novas formulações podem ser necessárias para compensar essa perda.

A outra forma de alteração da eficácia de fungicidas, como resultado das mudanças climáticas, é por meio de alterações na morfologia ou fisiologia das plantas. O aumento da espessura da camada cerosa epicuticular das folhas pode reduzir a absorção do fungicida pela planta, enquanto que o crescimento, freqüentemente observado com o aumento do  $\text{CO}_2$ , pode afetar negativamente a cobertura e levar a uma diluição do ingrediente ativo nos tecidos da planta hospedeira. Ambos os fatores sugerem uma redução de eficácia com o aumento da concentração de  $\text{CO}_2$ . Por outro lado, aumentos na taxa de metabolismo causados pelo aumento de temperatura podem resultar em maior velocidade de absorção e maior toxicidade ao organismo alvo. Num ensaio com o herbicida chlorotoluron, Edis et al. (1996) demonstraram que o biótipo resistente da planta invasora *Alopecurus myosuroides* se tornou mais sensível ao produto em ambiente com maior concentração de  $\text{CO}_2$ . Em experimentos conduzidos em ambiente controlado com concentração de  $700 \mu\text{mol/mol}$ , as plantas tratadas com o herbicida apresentaram significativa redução no crescimento, enquanto que, em ambiente com  $350 \mu\text{mol/mol}$ , não houve diferenças entre as plantas tratadas e as não tratadas. Possivelmente, alterações nos estômatos e no metabolismo da planta, decorrentes do aumento da concentração do gás, podem ter resultado em modificações na absorção e no translocamento do herbicida. Nessa linha de pesquisa, não foram encontrados trabalhos com fungicidas.

## Considerações finais

Técnicas tradicionais de manejo de pragas e doenças, como a escolha da cultura e cultivar apropriadas, o local e a época de plantio, os tratamentos culturais, além de outras decisões, dependem de informações climáticas. O manejo da água e a modificação do microclima da planta por meio de podas, por exemplo, podem reduzir os danos ocasionados pelas doenças. Os fungicidas devem ser usados após um monitoramento que indica sua necessidade, de forma adequada e segura. Tal manejo pode sofrer profundas alterações com as mudanças climáticas (STRAND, 2000).

A mudança na distribuição espacial e temporal das doenças e as novas combinações de plantas e patógenos alterarão significativamente o controle de doenças de plantas. No cenário climático futuro, o uso de fungicidas consistirá numa alternativa de controle, especialmente, até que haja alguma estabilização nas alterações ou até o desenvolvimento de outros métodos.

A resistência às doenças deve ser prioridade nos programas de melhoramento, visando à obtenção de cultivares produtivas adaptadas às mudanças climáticas. Outro aspecto que deve receber maior atenção é o fato da introdução de patógenos exóticos ser a maior causa de doenças emergentes (ANDERSON et al., 2004). A existência de barreiras para evitar as introduções desses patógenos e o treinamento de técnicos para diagnóstico de novas doenças são fundamentais para amenizar o problema.

Nos últimos anos, um número crescente de publicações a respeito de mudanças climáticas e doenças de plantas está sendo disponibilizado. Isso representa uma maior preocupação com o problema na comunidade fitopatológica, o que certamente resultará no manejo sustentável de doenças de plantas no futuro (CHAKRABORTY, 2005).

## Referências

- ANDERSON, P. K.; CUNNINGHAM, A. A.; PATEL, N. G.; MORALES, F. J.; EPSTEIN, P. R.; DASZAK, P. Emerging infectious diseases of plants: pathogen pollution, climate change and agrotechnology drivers. *Trends Ecology and Evolution*, Amsterdam, v. 19, n. 10, p. 535-544, 2004.
- CHAKRABORTY, S. Potential impact of climate change on plant-pathogen interactions. *Australasian Plant Pathology*, Collingwood, v. 34, n. 4, p. 443-448, 2005.
- CHAKRABORTY, S.; PANGGA, I. B. Plant disease and climate change. In: GILLINGS, M.; HOLMES, A. *Plant microbiology*. London: BIOS Scientific, 2004. p. 163-180.
- CHEN, C. C.; McCARL, B. A. An investigation of the relationship between pesticide usage and climate change. *Climatic Change*, Netherlands, v. 50, n. 4, p. 475-487, 2001.
- COAKLEY, S.M.; SCHERM, H.; CHAKRABORTY, S. Climate change and plant disease management. *Annual Review of Phytopathology*, Palo Alto, v. 37, p. 399-426, 1999.
- EDIS, D.; HULL, M. R.; COBB, A. H.; SANDERS-MILLS, G. E. A study of herbicide action and resistance at elevated level of carbon dioxide. *Aspects of Applied Biology*, Cambridge, v. 45, p. 205-210, 1996.
- KIMATI, H. Controle químico. In: BERGAMIN, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. *Manual de fitopatologia*. São Paulo: Agronômica Ceres1995. v. 1, p. 761-785.
- PRITCHARD, S. G.; AMTHOR, J. S. *Crops and environmental change*. Binghamton: Food Products Press, 2005. 421 p.
- SCHEPERS, H. T. A. M. Effect of rain on efficacy of fungicide deposits on potato against *Phytophthora infestans*. *Potato Research*, Wageningen, v. 39, p. 541-550, 1996.
- SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA DEFESA AGRÍCOLA. **Vendas:** classes. 2004. Disponível em: <<http://www.sindag.com.br/upload/vendas-classe04-us-porcentagem.xls>>. Acesso em: 21 nov. 2007.
- STACEY, D. A. Climate and biological control in organic crops. *International Journal of Pest Management*, London, v. 49, p. 205-214, 2003.
- STRAND, J. F. Some agrometeorological aspects of pest and disease management for the 21<sup>st</sup> century. *Agricultural and Forest Meteorology*. Amsterdam, v. 103, p. 73-82, 2000.