Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Identificação e modelagem do risco de fatores químicos e físicos à incidência da fusariose do maracujazeiro na Bahia

Giselle Souza Pinheiro ¹; Ludmilla Ferreira Cajuhi ¹; Ângelo Lima de Souza Guimarães ¹; Raul Castro Carrielo Rosa ²; Francisco Ferraz Laranjeira ²

¹ Mestrando em Microbiologia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), e-mail: gisellepinheiro13@hotmail.com (autor para correspondência). ² Pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas (CNPMPF), e-mail: francisco.laranjeira@embrapa.br; raul.rosa@embrapa.br

Artigo recebido em 18/06/2016 e aceito em 02/08/2016

RESUMO

A fusariose do maracujá é uma doença causada por um fungo de solo, *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (FOP), seu sintoma típico é a murcha. A Bahia é o principal produtor da fruta, porém a produção está sendo comprometida devido a esse problema fitossanitário. Os nutrientes podem aumentar ou diminuir a resistência das plantas a patógenos. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi identificar e quantificar a relação de risco entre fatores abióticos do solo e a incidência de fusariose do maracujá em plantios no estado da Bahia. Ao todo foram coletadas 50 amostras de solo, na profundidade de 0-20 cm. As análises químicas determinaram os valores de pH, macro e micronutrientes, e a classificação textural através de análise granulométrica. Constatou-se predominância de solos alcalinos. Em relação à classe textural, a franco arenoso foi verificada em 60% das amostras. Os dados de incidência em plantas se correlacionaram positivamente com pH, V e areia muito fina, já os valores de H⁺, Al, Fe e silte se correlacionaram negativamente. Para incidência em covas, pH, V, Mn/Fe e areia muito fina apresentaram correlação positiva, e H⁺, Al, Fe e silte se correlacionaram de forma negativa. De maneira geral, os elementos que se correlacionaram positivamente e negativamente com as incidências, podem indicar conducividade e supressividade à doença, respectivamente. Alta incidência da doença foi associada a teores de areia muito fina acima de 104 g/kg de solo. As variáveis, irrigação e classificação textural não apresentaram diferença significativa (p<0,05).

Palavras-chave: murcha-de-fusário, *passiflora*, pH, areia

Identification and modeling of the risk of chemical and physical factors to the incidence of fusarium wilt of passionflower in Bahia

ABSTRACT

The passion fruit scab is a disease caused by a soil fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (FOP), its typical symptom is wilting. Bahia is the largest producer of the fruit, but the production is being compromised because of this pest problem. Nutrients can increase or decrease the resistance of plants to pathogens. Thus, the aim of this study was to identify and quantify the risk relationship between abiotic factors of soil and the incidence of fusarium passion fruit plantations in the state of Bahia. Altogether they were collected 50 soil samples at a depth of 0-20 cm. Chemical analysis determined the pH, macro and micronutrients, and texture classification using the sieve analysis. There is a predominance of alkaline soils. Regarding the texture class, the sandy loam was observed in 60% of samples. The incidence data on plants were positively correlated with pH, V and very fine sand, since the H⁺ + Al values, Fe and silt were negatively correlated. For incidence in pits, pH, V, Mn / Fe and fine sand were positively correlated, and H⁺ + Al, Fe and silt correlated negatively. In general, the elements that positively and negatively correlated with the incidence may indicate conduciveness and suppressiveness the disease, respectively. High incidence of the disease was associated with very fine sand content above 104 g / kg soil. The variables, irrigation and textural classification showed no significant difference (p < 0.05).

Keywords: fusarium wilt, passionflower, pH, sand

Introdução

A grande diversidade genética do gênero *Passiflora*, está no Brasil com cerca de 150 espécies nativas conhecidas, sendo o maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deneger), o mais rentável economicamente. No país, seu cultivo em escala comercial iniciou-se no começo da década de 70. A qualidade dos frutos, produtividade e rendimento do suco, fazem com que essa espécie ocupe em torno de 95% dos pomares comerciais brasileiros, sendo também o mais cultivado do mundo (Araújo et al., 2006; Meletti & Bruckner, 2001).

O Brasil é o maior produtor mundial, com produção anual girando em torno de 838.244 toneladas. A região Nordeste do país é a maior produtora com um total de 622.036 toneladas. A Bahia é o maior produtor nacional da fruta, sendo responsável por quase 43% da produção brasileira, estando o cultivo concentrado nos municípios de Livramento de Nossa Senhora, Dom Basílio, e Rio Real, que respondem por aproximadamente 51% da produção baiana (IBGE, 2013).

O cultivo dessa fruteira, está em sua maioria associado a pequenas propriedades, proporcionando geração de empregos e renda, auxiliando no sustento familiar (Viana et al., 2003). Entretanto, apesar da cultura estar presente em quase todas as regiões, devido as condições climáticas favoráveis ao cultivo, a produtividade, em geral, é baixa (12 a 15t/ha). Essa baixa produtividade pode ser causada a fatores como: autoincompatibilidade da espécie, o que dificulta a polinização; ao manejo ineficaz do pomar; a baixa aplicação tecnológica, e por problemas fitossanitários tais como as doenças causadas por patógenos de solo (Silveira et al., 2012). Os problemas fitossanitários têm reduzido consideravelmente o tempo de vida útil da cultura, levando o agricultor a renovar frequentemente seu pomar (Silva et al., 2013).

A murcha de fusarium ou fusariose causada pelo fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (FOP) é um dos fatores limitantes no cultivo do maracujazeiro. Morfologicamente, *F. oxysporum* é muito variável, pode apresentar micélio flocoso, escasso ou abundante e variar da cor branca até violeta escuro em meio BDA (Batata Dextrose Ágar) dependendo do isolado utilizado. Os esporos podem ser na forma de O pH é o fator que mais afeta a disponibilidade dos nutrientes minerais tanto para as plantas como para os micro-organismos presentes no solo. Pode atuar direta ou indiretamente na população dos

macroconídios ou microconídios (Leslie & Summerell, 2006). A disseminação do patógeno pode acontecer através do contato de raízes infectadas com raízes de sadias, durante o crescimento das plantas, mudas infectadas e também pela água de irrigação.

Esse micro-organismo pode formar clamidósporos, que são estruturas de resistência com capacidade de sobrevivência no solo por longos períodos, sendo uma fonte de inóculo para novos plantios. Isso revela um dos principais obstáculos ao controle da doença (Bastos, 1976, Manica, 1981). A formação dessa nova estrutura, pode acontecer através da condensação do citoplasma e adensamento da parede das células que lhe originaram. Tem parede densa, aspecto enrugado, e coloração geralmente amarelo-marrom (Ohara, 2004; Summerell et al., 2003).

Esse fitopatógeno habitante do solo está entre os principais causadores de doenças de importância econômica do maracujazeiro, pois uma vez a planta infectada, ainda não existe forma de controle curativo. Essa enfermidade vem acarretando redução da vida útil do maracujazeiro, tornando essa cultura itinerante. Devido à alta incidência da doença, a renovação dos pomares acontece a cada dois anos ou anualmente, sendo que a vida útil da cultura era de cinco a seis anos (Ruggiero, 1996).

Os nutrientes além de exercerem influência na produtividade das plantas cultivadas causando modificações na taxa de crescimento, na sua composição química, também têm a capacidade de aumentar ou diminuir a incidência das doenças, ou até mesmo agir diretamente sobre o ciclo de vida do patógeno. A supressão às doenças de plantas pode ser alcançada através da manipulação das características químicas do solo como pH, macro e micronutrientes (Bettiol & Ghini, 2005).

Os nutrientes presentes no solo, disponíveis ao hospedeiro podem influenciar na susceptibilidade às doenças de várias formas, interferindo na disponibilidade de alimentos ao patógeno e nos mecanismos bioquímicos de defesa (Krugner, 1978). A supressividade aos patógenos pode ser aumentada, pela produção de compostos antifúngicos e enrijecimento da parede celular. Isso pode ocorrer quando todos os elementos minerais estiverem presentes de maneira balanceada (Marchner, 1986). fitopatógenos e de antagonistas. Em casos de pH alto, micro-organismos patogênicos são privados de seus micronutrientes essenciais, como Fe e B, enquanto que actinomicetos e bactérias se

multiplicam muito rápido, podendo assim ocorrer antagonismo. Solos com pH próximo a 7,0 parecem ser mais supressivos à murcha de *Fusarium* em várias culturas (Zambolim et al, 2012; Zambolim et al, 2005). A prática de calagem para correção do pH e fornecimento de Ca, é uma técnica utilizada há bastante tempo no controle de doenças de plantas e embora seja bem conhecido que o pH e a fertilidade do solo afetam significativamente a incidência e a severidade de muitas doenças radiculares, os mecanismos precisos são pouco compreendidos (Wheeler & Rush, 2001).

As características físicas do solo, assim como as químicas e biológicas, interferem na sobrevivência do inóculo de *F. oxysporum*, tendo efeitos supressivos ou condutivos à ocorrência da doença (Nelson, 1981). Solos arenosos têm se mostrados mais condutivos nas murchas causadas por *F. oxysporum*, enquanto que solos argilosos têm se comportado de forma supressiva. Languasco et al. (2000), analisando murcha de *fusarium* em melão, relataram que essa condutividade em solos arenosos ocorria devido ao aumento da população deste patógeno no solo. Rodrigues et al. (1998) concluíram que em solos arenosos a severidade de murcha de *fusarium* em tomate era mais alta.

De maneira geral, a fusariose do maracujá ainda é um patossistema pouco elucidado. Os trabalhos se concentram no estudo da resistência genética de espécies silvestres a FOP, características genéticas do fungo e métodos de inoculação. Poucos estudos vêm sendo

desenvolvidos na tentativa de controle da doença. O manejo adotado em relação a correção do pH, aplicação de macro e micronutrientes e textura do solo é baseado no modelo geral para outras fusarioses. É importante ressaltar que cada patossistema é específico e que os fatores de risco para a ocorrência dessa doença ainda são desconhecidos.

Em razão da carência de informações sobre a influência dos fatores abióticos de risco para fusariose do maracujá, este trabalho teve como objetivo: correlacionar as variáveis químicas e físicas do solo com porcentagem de incidência da fusariose em plantios de maracujá na Bahia.

Material e métodos

Coleta e análise química e física das amostras de solo

As amostras de solos foram coletadas em áreas produtoras de maracujá amarelo em final de ciclo, na Bahia, no ano de 2014 durante os meses de agosto a novembro, nas cidades de Brumado (Itaquaraí), Dom Basílio, Livramento de Nossa Senhora e Rio de Contas. As amostras foram retiradas próximo as plantas na profundidade de 0-20 cm, com auxílio de um trado holandês. Ao todo foram coletadas 50 amostras compostas (cada amostra composta correspondeu de cinco a dez sub-amostras simples após a homogeneização), sendo uma amostra por área.

Figura 1. Áreas de coleta das amostras de solo em plantios de maracujá na Bahia

As análises químicas para determinação dos valores de pH, P, K, Ca, Mg, Ca+Mg, Al, Na, H+Al, SB, CTC, V, Cu, Fe, Zn, Mn, foram feitas utilizando os métodos descritos em Embrapa (1997).

A partir dos resultados das análises químicas, quantificaram-se as seguintes relações entre nutrientes: K/Mg, K/Ca, Mg/K, Ca/Mg, Ca/Na, Ca+Mg/K, Mg/Cu, Mg+Mn, Na/Mg, Mg+Zn, Cu/Fe, Mn/Fe, Zn/Cu, P/Cu, K/Na, K/P, Cu+Fe+Zn+Mn.

A classificação textural dos solos coletados e os teores de areia (muito grossa, grossa, média, fina, muito fina e total), silte, argila foram determinados através de análise granulométrica (EMBRAPA, 1997).

Incidência de Fusariose nas áreas

As avaliações de incidência da doença foram feitas percorrendo-se toda a área plantada, anotando-se as plantas doentes e as plantas sem sintomas. Como planta doente admitiu-se as que apresentavam sintomas clássicos da doença: murcha verde (Figura 1) e descoloração dos vasos (Figura 2). As plantas que apresentavam sintomas externos, foram cortadas longitudinalmente para verificar se havia descoloração interna dos vasos condutores, caso esse sintoma fosse observado, fragmentos dos tecidos eram coletados e levados para o Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Mandioca em Fruticultura, para isolamento e confirmação do agente causal. Os dados foram expressos em porcentagem, considerando a proporção de plantas e covas sintomáticas em cada área.

Figura 2. Planta de maracujá com sintoma de murcha de fusariose. Foto: Francisco Laranjeira

Figura 3. Vasos com descoloração causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (FOP) (à esquerda), vasos assintomáticos (à direita) Foto: Francisco Laranjeira

Análises estatísticas

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para normalidade. Os valores em percentagem (Incidência da doença em plantas e covas, e saturação de bases (V)) foram transformados para $\arcsin \sqrt{x/100}$ visando a distribuição normal.

Mediu-se o grau de associação entre duas variáveis numéricas através dos coeficientes de correlação de Spearman (Figueiredo et al., 2009) entre a incidência da doença em plantas e covas, e as variáveis químicas e físicas das amostras de solo dos diferentes pomares de maracujá amostrados. As variáveis correlacionadas ($p < 0,15$) com a incidência da doença, foram utilizadas para a análise de componentes principais, com o

objetivo de definir quais dessas variáveis mais contribuíam para explicar o conjunto de dados (Moita Neto & Moita, 1997).

Na seleção dos fatores, o critério adotado foi que a soma da variância deveria corresponder a um mínimo de 75% da variância total.

Procedeu-se uma análise de discriminante, para determinar se as variáveis selecionadas eram capazes de separar melhor os agrupamentos previamente definidos (Legendre & Legendre, 1998). A significância do modelo foi testada pelo teste F ($P < 0,05$), e a contribuição relativa das variáveis foi analisada pela estatística lambda parcial de Wilk ($p < 0,05$). Posteriormente a identificação das variáveis discriminantes e dos valores-limite, os agrupamentos foram comparados pelo teste U de Mann-Whitney ($P < 0,05$).

As informações sobre irrigação e classificação textural das áreas foram analisados por meio do teste U de Mann-Whitney (comparação de dois grupos) e teste de Kruskal-Wallis (comparação de três ou mais grupos), respectivamente. Todos os procedimentos foram executados no programa STATISTICA 7.0.

Resultados

A normalidade dos dados das 48 variáveis analisadas, verificada pelo teste Shapiro-Wilk W ($p < 0,05$), constatou que apenas Mn, Mg + Mn, areia média, areia muito fina, areia total e silte seguiam distribuição normal.

As características químicas dos solos evidenciaram a predominância de solos alcalinos, com 28 amostras apresentando valores de pH acima de 7,0 e 22 com valores inferiores a 7,0. O valor mínimo de pH observado foi de 4,7 e o máximo de 8,2 (Tabela 1).

Os teores de Al, H+Al, Zn e Na apresentaram os maiores coeficientes de variação (%), com valores respectivos de 420,9%, 187,2%, 86,6% e 86,1%, indicando alta variação da quantidade desses elementos nos solos dos municípios baianos amostrados. As menores variações foram observadas no pH e na saturação de bases (V), com 12,2% e 13,4%, evidenciando maior uniformidade dessas variáveis nos pontos coletados.

Em relação à característica física estudada, as amostras de solo apresentaram quatro classes texturais diferentes, com predominância da classe textural franco arenoso, verificada em 60% das amostras.

As variáveis que se correlacionaram com a incidência da doença tanto em plantas como em covas, foram semelhantes (Tabela 2). Com exceção apenas da relação Mn/Fe, que apresentou correlação somente com incidência em covas.

Os dados de incidência em plantas se correlacionaram positivamente com pH, V e areia muito fina. Os valores de H+Al, Fe e silte se correlacionaram negativamente. Para incidência em covas, pH, V, Mn/Fe e areia muito fina apresentaram correlação positiva, e H+Al, Fe e silte se correlacionaram de forma negativa.

De maneira geral, os elementos que se correlacionaram positivamente e negativamente com as incidências, podem indicar condutividade e supressividade à doença, respectivamente.

Considerando as variáveis que se correlacionaram com a incidência em plantas ($p < 0,15$), observou-se que os dois primeiros componentes principais (CP) explicaram 82,49% da variância total disponível (Figura 3). As variáveis que mais contribuíram para o CP1 (que explica 59,34% da variância total), foram pH, saturação de bases (V) e acidez potencial (H + Al) (30,46%, 30,58% e 29,79% do total do CP1, respectivamente). No CP2, que explica 23,15% da variância total, as variáveis que mais contribuíram foram Fe e areia muito fina, com 60,34% e 38,53%, respectivamente, do total do CP2 (Tabela 3).

Para incidência em covas, os dois primeiros componentes principais (CP) explicaram 76,54% da variância total disponível (Figura 4). As variáveis que mais contribuíram para o CP1 (que explica 51,63% da variância total), foram pH, saturação de bases e acidez potencial (28,50%, 28,35% e 27,51% do total do CP1, respectivamente). No CP2, que explica 24,91% da variância total, as variáveis que mais contribuíram foram Fe, Mn/Fe e areia muito fina, com 43,23%, 33,14% e 20,02%, respectivamente, do total do CP2 (Tabela 4).

Tabela 1. Estatísticas descritivas sobre a incidência de fusariose em plantas e covas e as variáveis químicas dos solos originados de diferentes pomares de maracujá amarelo na Bahia.

Variável	Média	Mín	Máx	DP	CV (%)
Inc. plantas (%)	21,85	0,00	100,00	28,27	129,40
Inc. covas (%)	30,92	0,00	100,00	30,42	98,39
pH	6,99	4,70	8,20	0,85	12,23
P (mg/dm ³)	89,02	4,00	210,00	53,27	59,84
K (cmolc /dm ³)	0,42	0,12	1,21	0,22	52,02
Ca (cmolc /dm ³)	5,20	1,16	22,31	3,37	64,92
Mg (cmolc /dm ³)	1,90	0,35	7,63	1,27	66,53
Ca + Mg (cmolc /dm ³)	7,10	1,51	29,94	4,52	63,65
Al (cmolc /dm ³)	0,03	0,00	0,70	0,13	420,88
Na (cmolc /dm ³)	0,74	0,05	3,17	0,63	86,09
H +Al (cmolc /dm ³)	0,53	0,00	5,28	0,98	187,18
SB (cmolc /dm ³)	8,26	1,80	30,58	4,78	57,94
CTC (cmolc /dm ³)	8,78	3,92	32,56	4,90	55,79
V (%)	93,52	44,00	100,00	12,50	13,37
Cu (mg/dm ³)	1,59	0,00	5,14	1,08	67,97
Fe (mg/dm ³)	29,23	5,57	89,39	19,51	66,74
Zn (mg/dm ³)	3,00	0,51	11,30	2,59	86,59
Mn (mg/dm ³)	89,31	6,45	184,16	40,95	45,85

SB = soma de bases, CTC = capacidade de troca catiônica, V = saturação de bases, DP = desvio padrão, CV = Coeficiente de Variação

Tabela 2. Coeficientes da correlação de Spearman entre a incidência de fusariose em plantas e em covas e as variáveis químicas e físicas dos solos originados de diferentes pomares de maracujá amarelo na Bahia.

Variável	Incidência em plantas (%)	Incidência em covas (%)
pH	0,23*	0,26*
P (mg/dm ³)	-0,05 ^{ns}	-0,02 ^{ns}
K (cmolc /dm ³)	0,09 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Ca (cmolc /dm ³)	0,06 ^{ns}	0,07 ^{ns}
Mg (cmolc /dm ³)	-0,07 ^{ns}	-0,04 ^{ns}
Ca + Mg (cmolc /dm ³)	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Al (cmolc /dm ³)	-0,11 ^{ns}	-0,16 ^{ns}
Na (cmolc /dm ³)	-0,08 ^{ns}	0,01 ^{ns}
H +Al (cmolc /dm ³)	-0,22*	-0,26*
SB (cmolc /dm ³)	0,00 ^{ns}	0,03 ^{ns}
CTC (cmolc /dm ³)	-0,04 ^{ns}	-0,02 ^{ns}
V (%)	0,21*	0,26*
Cu (mg/dm ³)	-0,07 ^{ns}	-0,14 ^{ns}
Fe (mg/dm ³)	-0,22*	-0,30*
Zn (mg/dm ³)	-0,02 ^{ns}	-0,04 ^{ns}
Mn (mg/dm ³)	0,03 ^{ns}	0,06 ^{ns}
K/Mg	0,13 ^{ns}	0,16 ^{ns}
K/Ca	0,02 ^{ns}	0,05 ^{ns}
Mg/K	-0,13 ^{ns}	-0,16 ^{ns}
Ca/Mg	0,10 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Ca/Na	0,09 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Ca+Mg/K	-0,08 ^{ns}	-0,08 ^{ns}
Mg/Cu	0,07 ^{ns}	0,13 ^{ns}
Mg+Mn	0,03 ^{ns}	0,06 ^{ns}
Na/Mg	-0,06 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Mg+Zn	-0,07 ^{ns}	-0,08 ^{ns}
Cu/Fe	0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Mn/Fe	0,17 ^{ns}	0,25*
Zn/Cu	0,14 ^{ns}	0,18 ^{ns}
P/Cu	0,10 ^{ns}	0,16 ^{ns}
K/Na	0,11 ^{ns}	0,04 ^{ns}
K/P	0,06 ^{ns}	0,07 ^{ns}
Cu+Fe+Zn+Mn	0,01 ^{ns}	-0,07 ^{ns}
Ar.muito grossa (g/kg)	-0,15 ^{ns}	-0,15 ^{ns}
Areia grossa (g/kg)	-0,07 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Areia média (g/kg)	0,08 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Areia fina (g/kg)	0,18 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Ar.muito fina (g/kg)	0,21*	0,22*
Areia total (g/kg)	0,15 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Silte (g/kg)	-0,25*	-0,27*
Argila (g/kg)	-0,01 ^{ns}	-0,03 ^{ns}

* valores significativos a $P \leq 0,15$, ^{ns} valores não significativos a $P \leq 0,15$, SB= soma de bases, CTC= capacidade de troca catiônica, V = saturação por bases.

Figura 4. Coordenada de fatores da análise de componentes principais para a incidência de fusariose em plantas em relação às variáveis químicas e físicas dos solos originados de diferentes pomares de maracujá amarelo na Bahia.

Tabela 3. Componentes principais (CP), variância explicada (VT) e contribuição das variáveis químicas e físicas (%) em cada componente principal para a incidência de fusariose em plantas.

CP	VT(%)	pH	H+Al	V	Fe	Areia muito fina
1	59,34	30,46	29,79	30,58	2,19	6,96
2	23,15	0,16	0,77	0,17	60,34	38,53
3	12,91	2,42	1,07	6,43	36,35	53,70
4	3,10	35,47	61,05	2,43	1,01	0,01
5	1,50	31,47	7,30	60,37	0,08	0,77

Figura 5. Coordenada de fatores da análise de componentes principais para a incidência de fusariose em covas em relação às variáveis químicas e físicas dos solos originados de diferentes pomares de maracujá amarelo na Bahia.

Tabela 4. Componentes principais (CP), variância explicada (VT) e contribuição das variáveis químicas e físicas (%) em cada componente principal para a incidência de fusariose em covas.

CP	VT(%)	pH	H+Al	V	Fe	Mn/Fe	Areia muito fina
1	51,63	28,50	27,51	28,35	4,04	6,19	5,38
2	24,91	1,73	0,71	1,14	43,23	33,14	20,02
3	12,38	1,14	5,03	7,07	1,16	17,07	68,49
4	7,58	3,33	3,99	0,61	46,97	39,74	5,32
5	2,25	30,76	57,03	3,91	4,57	3,71	0,00
6	1,24	34,52	5,68	5,88	0,00	0,12	0,76

A análise discriminante foi aplicada a partir dos dois grupos definidos (<5% baixa incidência e >5% alta incidência) em função da percentagem de incidência da doença e considerando a utilização das variáveis que se correlacionaram significativamente ($p < 0,15$) (Tabelas 5 e 6). A única variável que contribuiu

significativamente para a discriminação dos grupos de incidência foi a areia muito fina com 18% de erros e 82% de acertos, para plantas (Tabela 6).

Tabela 5. Estatísticas de Wilks' Lambda e probabilidade associados às variáveis utilizadas na análise discriminante de incidência de fusariose (covas) em solos originados de diferentes pomares de maracujá amarelo na Bahia.

Variável	Wilk's Lambda	Probabilidade de erro
pH	0,83	0,36
H + Al	0,87	0,10
V	0,82	0,72
Fe	0,86	0,15
Mn/Fe	0,82	0,70
Areia muito fina	0,87	0,10

Tabela 6. Estatísticas de Wilks' Lambda e probabilidade associados às variáveis utilizadas na análise discriminante de incidência de fusariose (plantas) em solos originados de diferentes pomares de maracujá amarelo na Bahia.

Variável	Wilk's Lambda	Probabilidade de erro
pH	0,81	1,00
H + Al	0,82	0,52
V	0,82	0,80
Fe	0,87	0,09
Areia muito fina	0,96	0,01

Após a identificação da variável capaz de discriminar os grupos de incidência de fusariose em plantas de maracujá, realizou-se o teste de

Mann-Whitney para comparar os grupos, o que confirma a observação de que o teor de areia muito fina conseguiu distinguir a incidência em alta e baixa com uma probabilidade de erro = 0,052 (Figura 5).

Figura 6. Comparação de grupos de incidência em plantas em função dos teores de areia muito fina, pelo teste de Mann-Whitney ($p < 0,05$).

Foi utilizada a técnica dos quantis para plotar o comportamento das variáveis e selecionar valores-limite, assim foi possível observar o comportamento da distribuição dos teores de areia muito fina e a relação com a incidência de

fusariose em plantas de maracujá (Figura 6). Acima do percentil 25% da incidência em plantas, a relação entre as duas variáveis testadas é diretamente proporcional.

Figura 7. Relação entre areia muito fina e incidência de fusariose em plantas de maracujá amarelo. A linha pontilhada e seta no gráfico quantil-quantil mostram a seleção do valor-limite da variável física do solo.

A partir da Figura 7, foi selecionado e testado um valor-limite de 104 g/kg de areia muito fina. O valor limite determinado foi significativo para separar os valores de incidência em plantas,

pelo teste U de Mann-Whitney ($p < 0,05$). Alta incidência da doença foi associada a teores de areia muito fina acima de 104 g/kg de solo (Figura 7).

Figura 8. Comparação de grupos classificados de acordo com o valor-limite de areia muito fina, pelo teste U de Mann-Whitney ($p < 0,05$).

Os dados de irrigação (gotejamento ou microaspersão) e classificação textural (franco argilo arenoso, franco arenoso, areia franca e argila), foram comparados pelos testes de Mann-Whitney ($p = 0,94$) e Kruskal-Wallis ($p = 0,30$), respectivamente. Para nenhuma das variáveis analisadas foi observada diferença significativa

Discussão

Os sintomas observados em campo são reflexo do ciclo das relações patógeno-hospedeiro. Os atributos químicos e físicos do solo podem agir direta ou indiretamente tanto no hospedeiro quanto no patógeno. A maioria dos trabalhos que abordam o efeito dos fatores abióticos em fusarioses, relatam apenas a alta ou baixa incidência da doença, mas não abordam em que fase específica isso ocorreu, seja a sobrevivência, disseminação, infecção, colonização ou reprodução do patógeno. O conhecimento dos fatores abióticos de risco para a ocorrência da doença se faz útil desde antes da implantação do pomar ou até no manejo de pomares já estabelecidos.

Diferentemente de alguns patossistemas com *F. oxysporum* em outras culturas de interesse agrícola (banana, tomate, feijão caupi, algodão) em que pH ácido favorece a doença, para a fusariose do maracujá o observado foi o oposto, a doença é mais severa em pH alcalino. Frequentemente, *F. oxysporum*, e outros fungos de solo, possuem preferência por solos com pH ácidos (Amir & Alabouvette, 1993). Isso pode ser atribuído a uma adaptação do patógeno a essa condição, já que a maioria dos solos analisados

tinham pH acima de sete. Em solos com pH superior a 7, a disponibilidade de Fe, Cu, Zn e Mn pode ser comprometida (Souza et al., 2007). Levando em consideração que esses micronutrientes atuam na defesa da planta, hospedeiros em pH alcalino podem estar mais suscetíveis a infecção e colonização do fungo.

No tocante ao índice de saturação de bases (V), a correlação positiva também foi observada, o que faz todo sentido já que essa variável e os níveis de pH, são altamente relacionados e podem atuar simultaneamente na supressividade ou na condutividade de doenças. É importante ressaltar que nesse caso, o efeito não veio da ação isolada de um nutriente, e sim, da soma de bases trocáveis ($\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na}$) dividida pela capacidade de troca de cátions ($\text{SB} + \text{H} + \text{Al}$). Os elementos Ca, Mg estão frequentemente associados ao pH. No hospedeiro, esses elementos auxiliam na organização celular e no crescimento, respectivamente. No entanto, na ausência do hospedeiro, talvez estejam induzindo a atividade saprofítica do patógeno. Como estão em abundância, esses elementos podem estar servindo de nutrientes ao fungo. Em contraposição, para o mal-do-Panamá em bananeira cv. Pacovan no estado da Paraíba, os maiores valores de V foram observados em plantas sadias (Lopes et al., 2008). Já para murcha-de-fusário em caupi, nenhuma relação foi observada (Andrión, 2009). Ressaltando-se assim a especificidade de cada patossistema.

O efeito negativo da acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$), pode estar associado ao efeito direto no fungo, por meio da toxicidade do Al. Sabe-se que

esse elemento compromete o crescimento das raízes através da interferência no meristema apical e consequentemente na divisão celular (Zambolim et al., 2012). Em pH ácido e consequentemente maior acidez potencial, os hospedeiros tendem a ter mais disponibilidade de macronutrientes, os quais podem atuar na integridade da membrana e da parede celular, como é o caso do cálcio. Nessas condições o processo de infecção pode ser dificultado e a relação parasitária não se estabelecer.

A correlação negativa entre os teores de Fe nos solos e a incidência da fusariose do maracujazeiro pode estar relacionada ao fato de que na presença de íons ferro, o hospedeiro ativa enzimas que atuam na síntese de compostos antifúngicos (Zambolim et al., 2005). Outra possível explicação seria o efeito de antagonistas, como *F. oxysporum* não patogênico e *Pseudomonas* na competição por esse nutriente. Todavia, esse elemento em altas concentrações pode influenciar no aumento da síntese de toxinas por *F. oxysporum* f.sp. *lycopersici* (Michereff et al., 2005).

De todos os atributos do solo, avaliados, a areia muito fina foi o único identificado como fator de risco para a ocorrência da doença. De maneira geral, solos arenosos são mais condutivos a doenças causadas por esse patógeno de solo (Balmer et al., 1967; Languasco, 2000). Uma possível explicação seria que solos com essa textura, facilitam o crescimento das raízes do hospedeiro, e consequentemente teria mais tecido a ser infectado pelo patógeno. Outra hipótese seria que condições de mais aeração, poros maiores e boa drenagem facilitariam a microdisseminação do inóculo naquele ambiente.

Com base nessa análise exploratória, foi possível inferir sobre alguns dos atributos químicos e físicos do solo que tem relação com a fusariose do maracujazeiro, porém o estudo dos fatores abióticos envolvidos nesse patossistema ainda estão em fase inicial. Devido à importância econômica crescente dessa fruteira, os resultados obtidos nesse trabalho devem servir de base para experimentos futuros que levem em consideração as diferentes fases do ciclo da doença e do patógeno, visando contribuir efetivamente para o manejo desse problema fitossanitário.

Conclusões

Neste trabalho foi possível identificar os fatores abióticos relacionados à incidência da fusariose do maracujá e ao crescimento, reprodução e sobrevivência do agente causal.

Através das análises utilizadas, os elementos e relações: pH, Fe, saturação de bases, acidez potencial, silte e areia muito fina, se mostraram condutivos ou supressivos à ocorrência da doença. Sendo a areia o único identificado como fator de risco.

O estudo dos fatores abióticos que influenciam na fusariose do maracujazeiro ainda está em fase inicial. No entanto, os dados gerados nesta análise exploratória devem servir de base para experimentos futuros que visem descobrir em que fase da relação patógeno-hospedeiro, cada fator está interferindo. E assim tomar as medidas cabíveis para o manejo deste problema da passicultura.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos produtores de maracujá e funcionários da ADAB de Dom Basílio e Livramento de Nossa Senhora pelo auxílio na coleta das amostras de solo, aos Laboratórios de Nutrição de plantas e Física do solo da Embrapa Mandioca e Fruticultura (CNPMPF) pelas análises, à Capes pela concessão das bolsas e à Embrapa CNPMPF pelo apoio as atividades de pesquisa.

Referência

- Amir, H.; Alabouvette, C., 1993. Involvement of soil abiotic factors in the mechanisms of soil suppressiveness to *Fusarium* wilts. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford 25, 157-164.
- Andrión, E. E. B., 2009. Supressividade Natural de Solos do Nordeste Brasileiro à Murcha-de-Fusário e Rizoctoniose do Caupi. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife/PE.
- Araújo, R. C.; Bruckner, C. H.; Martinez, H. E. P.; Salomão, L. C. C.; Alvarez, V. H.; Souza, A. P.; Pereira, W. E.; Himuzi, S., 2006. Quality of yellow passionfruit (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) as affected by potassium nutrition. *Fruits*. França 27,109-115.
- Balmer, E., 1967 Influência de deficiências minerais sobre a expressão de sintomas de murcha do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L., var. IAC-12) causada por *Fusarium oxysporum* vasinfectum (Atk) Snyder & Hansen. *Ciência e Cultura*, Campinas/SP 19, 450.
- Bastos, C., 1976. N. Produção de metabólitos tóxicos por *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* causando murcha de plântulas de

- maracujá (*Passiflora edulis* Sims). Turrialba, San José 26, 371-373.
- Bettiol, W.; Ghini, R. Solos supressivos. In: Michereff, S. J.; Andrade, D. E. G. T.; Menezes, M. (Eds.)., 2005. Ecologia manejo de patógenos radiculares em solos tropicais. Recife: UFRPE - Imprensa Universitária, pp. 125-153.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária., 1997. Manual de Métodos de Análise de Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, ed.2. Rio de Janeiro/RJ.
- Figueiredo, R. R.; Azevedo, A. A.; Oliveira, P. M., 2009. Análise da correlação entre a escala visual-análoga e o Tinnitus Handicap Inventory na avaliação de pacientes com zumbido. Revista Brasileira de Otorrinolaringologia, São Paulo/SP 75, 76-79.
- Krugner, T. L., 1978. Ação do ambiente sobre doenças de plantas. In: Galli, F. (Coord.). Manual de fitopatologia. 2. ed. São Paulo: Agrônômica Ceres 1, 215-225.
- Languasco, L.; Giosuè, S.; Rossi, V.; Gualazzi, M., 2000. Influence of soil and cultural variables on *Fusarium* wilt of melon. OEPP/EPPO Bulletin, Paris 30, 185-190.
- Legendre, P.; Legendre, L., 1998. Numerical ecology, 2nd English edn. Elsevier, Amsterdam.
- Leslie J. F; Summerell B.A., 2006. The *Fusarium* Laboratory Manual. Blackwell Publishing Ltd, Iowa.
- Lopes, E. B.; Brito, C. H.; Albuquerque, I. C.; Oliveira, A. R. R., 2008. Influência de fatores químicos do solo sobre incidência do mal-do-Panamá na bananeira cv. Pacovan na Paraíba. Revista de Biologia e Ciências da Terra, São Cristovão/SE 8, 100-109.
- Manica, I., 1981. Fruticultura tropical: maracujá. São Paulo: Agrônômica Ceres, pp. 151.
- Marschner, H., 1986. Relationship between mineral nutrition and plant diseases and pests. In: H. Marschner, ed. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, pp. 369-390.
- Meletti, L. M. M.; Brückner, C. H., 2001. Melhoramento Genético. In: Brückner, C. H.; Picanço, M. C. Maracujá: tecnologia de produção, pós-colheita, agroindústria, mercado. Porto Alegre: Cinco Continentes, pp. 345-385.
- Michereff, S. J.; Andrade, D. E. G. T.; Menezes, M., 2005. (Ed.) Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais. Recife: UFRPE – Imprensa Universitária, pp. 153 – 181.
- Moita Neto, J. M.; Moita, G. C., 1997. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. Química Nova, São Paulo/SP 24, 467-469.
- Nelson, P.E. 1981. Life cycle and epidemiology of *Fusarium oxysporum*. In: Mace, M.E., Bell, A.A. & Beckman, C.H. (Eds.) Fungal Wilt Diseases of Plants. New York. Academic Press. pp.51-80.
- Ohara, T.; Inoue, F.; Namiki, H.; Kunoh, T. Tsuge., 2004. REN1 is required for development of microconidia and macroconidia, but not of chlamydospores, in the plant pathogenic fungus *Fusarium oxysporum*. Genetics, pp.113–124.
- Rodrigues, F.A.; Juliatti, F.C.; Silva, O.A.; Corrêa, G.F.; Peixoto, J.R., 1998. Influência de diferentes classes de solo na severidade da murcha-de-fusário do tomateiro. Fitopatologia Brasileira 23, 404-406.
- Ruggiero, C.; São José, A. R.; Volpe, C. A.; oliveira, J. C.; Duringan, J.F.; Baumgartner, J. G.; Silva, J. R. DA; Nakamura, K.; Ferreira, M.E.; Kavati, R.; Pereira, V. de P., 1996. Maracujá para exportação: aspectos técnicos da produção. Brasília, DF: EMBRAPA. SPI, pp. 64.
- Silva J. S.; Coimbra J. L.; Tavares D. G.; Afonso, G. O., 2013. Inibição in vitro do crescimento micelial do fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* utilizando isolados de actinomicetos obtidos da rizosfera de plantas nativas do cerrado baiano. Natureza on line 11, 15-19.
- Silveira, M. V. 2012. Is manual pollination of yellow passion fruit completely dispensable? Scientia Horticulturae, Amsterdam 146, 99-103.
- Sousa, V. F., 2002. Distribuição radicular do maracujazeiro sob diferentes doses de potássio aplicadas por fertirrigação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 6, 51-56.
- Summerell, B. A.; Salleh, B.; Leslie, J. F. A., 2003. Utilitarian Approach to *Fusarium* Identification. Plant Disease 87, 117-128.
- Viana, F. M. P., 2003. Principais Doenças do Maracujazeiro na Região Nordeste e seu Controle. Fortaleza: Embrapa, pp.12. (Comunicado Técnico 86)
- Wheeler, T.; Rush, C.M., 2001. Soilborne diseases. In: Maloy, O.C. & Murray, T.D. (Eds.) Encyclopedia of Plant Pathology. New York. JohnWiley & Sons, pp. 935-947.

Zambolim L.; Costa, H.; Vale, F.X.R., 2005. Nutrição mineral e patógenos radiculares. In: MICHEREFF, S.J.; Andrade, D.E. G.T.; Menezes, M. (Ed.) Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais. Recife: UFRPE – Imprensa Universitária, pp. 153 – 181.

Zambolim, L.; Ventura, J.A.; Zañão, L.A., 2012. Efeito da Nutrição Mineral no Controle de Doenças de Plantas. Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa. Ed.1. Soil Science 1, 321.