

EFEITOS DA VENTILAÇÃO NA POLINIZAÇÃO DO CACAUEIRO

Kazuiyuki Nakayama

CEPLAC/CEPEC - km 22, Rod. Ilhéus/Itabuna, 45600-970, Ilhéus, Bahia Brasil. Kazuiyuki.nakayama@agricultura.gov.br

Considerando a necessidade de elevar as produções de cacauzeiros em áreas de plantios tecnificados e a efetividade da polinização ventilada no incremento da frutificação o trabalho avaliou os efeitos da intensidade de frutificação do cacauzeiro quando submetido à ventilação forçada. O experimento foi instalado no mês de maio de 2013, na Fazenda Álamo, município de Eunápolis, BA, num cacauzal de seis anos de idade, espaçamento de 4,3 x 2,3 m, densidade de 930 plantas por ha, plantado em fila dupla com a variedade CCN -51. A ventilação foi propulsionada usando pulverizador Jacto PJ 2000 tracionado por um trator Valmet. As variáveis independentes foram: horário da ventilação, distância entre a flor e o bocal de saída do ventilador, número de ramos por face da copa do cacauzeiro e a planta. Os tratamentos foram os respectivos horários de ventilação classificados em: 1 - ventilação pela manhã, entre 7:00 às 9:00 horas; 2 - ventilação pela tarde, entre as 14 às 18 horas; 3 - ventilação pela manhã e tarde; e 4 - testemunha - Plantas sem ventilação submetidas à polinização natural. Observou-se que a intensidade de frutificação das plantas ventiladas foi maior do que a frutificação gerada naturalmente pela mosca polinizadora *Forcipomyia* spp. Os resultados mostraram que a polinização ventilada incrementou a polinização fértil e a frutificação do cacauzeiro; que a ventilação vespertina incrementa a polinização fértil e a frutificação de forma significativamente superior à ventilação matutina; que a dupla ventilação aplicada nos períodos matutino e vespertino do mesmo dia, produz menos polinizações férteis; que a ventilação, com velocidade superior a 80 km/hora, produz lesões nos frutos de cacau em desenvolvimento e que frutos lesionados por ventilação de alta velocidade desenvolvem cicatrizes na casca, mas não são abortados nem atacados por enfermidades.

Palavras-chave: anemofilia, *Theobroma cacao* L., polinização, *Forcipomyia*.

Effects of ventilation in cocoa pollination. Considering the need to increase cacao yields in technically planted areas and the effectiveness of ventilated pollination in the increase of fruiting, the work evaluated the effects of the fruiting intensity of the cacao tree when subjected to forced ventilation. The experiment was carried out in May 2013 at the Álamo farm in Eunápolis, Bahia, Brazil, in a six-year-old plot with a spacing of 4.3 x 2.3 m, a density of 930 plants per ha planted in double rows with the CCN -51 variety. Ventilation was propelled using a PJ 2000 spray jet powered by a Valmet tractor. The independent variables were: ventilation time, distance between the flower and the ventilator exit nozzle, number of branches per face of the cacao tree and the plant. The treatments were the respective ventilation schedules classified as: 1 - morning ventilation, between 7:00 and 9:00, 2 - ventilation in the afternoon, between 14:00 and 16:00, 3 - ventilation in the morning and afternoon, and 4 - control - non - ventilation plants subjected to natural pollination. It was observed that the fruiting intensity of the ventilated plants was higher than the fruiting generated naturally, by the pollinating fly *Forcipomyia* spp. The results showed that the ventilated pollination increased the fruitful pollination and the fruiting of the cacao tree; that evening ventilation increases fertile pollination and fruiting significantly better than morning ventilation; that the double ventilation applied in the morning and evening periods of the same day produces less fertile pollination; that ventilation with velocity greater than 80 km/h produces lesions in developing cocoa fruits and that lesions damaged by high velocity ventilation develop scars on the bark but are not aborted nor attacked by diseases.

Key words: anemophily, *Theobroma cacao* L., pollination, *Forcipomyia*.

Introdução

A formação do fruto do cacaueteiro é iniciada, após a polinização da flor, se houver um número mínimo de óvulos fertilizados. No cacaueteiro, a intensidade de frutificação ou carga de frutos adicionada à planta, num período de tempo determinado, depende das variáveis, frequência de óvulos fertilizados após a polinização, quantidade de pólen depositada no estigma da flor (Pound, 1932a e b), tipo de polinização quanto à origem do pólen (cruzada ou auto) e grau de incompatibilidade gamética, auto ou inter, das variedades que compõe o cacaueteiro (Pound, 1935a e b; Cope 1958, 1962; Seavey & Bawa, 1986), quantidade de almofadas florais e flores na planta, frequência de flor polinizada, densidade populacional do polinizador, eficiência polinizadora do agente polinizador (Hernandez, 1965; Soria, 1970).

A fertilização, no cacaueteiro é, geneticamente, determinada por um conjunto de cinco alelos, os quais definem o grau de incompatibilidade gamética do genótipo e entre os genótipos envolvidos no cruzamento (Lundqvist, 1975; Seavey & Bawa, 1986). A incompatibilidade gamética dos genótipos cacaueteiros tem várias categorias, a seguir. Autoincompatibilidade, quando o pólen da planta de um genótipo, mediante autopolinização, não fertiliza sua própria flor ou flores das outras plantas do mesmo genótipo. Autocompatibilidade, quando o pólen de uma planta, mediante a autopolinização fertiliza suas próprias flores ou as flores de outras plantas do mesmo genótipo. Inter compatibilidade, quando os pólenes dos genótipos distintos se fertilizam mutuamente. Inter incompatibilidade, quando o pólen de diferentes genótipos, através de polinização cruzada, não fertiliza as flores, reciprocamente (Cope, 1958; Cope, 1962; Lundqvist, 1975; Nettancourt, 1997; Seavey & Bawa, 1986).

A frequência de polinização, também, depende da morfologia floral do cacaueteiro. Durante a abertura do botão floral, a flor forma uma estrutura anatomorfológica hercogâmica (Ferri, 1983). A hercogamia deprime a frequência de polinização, quer seja pela presença da concha da pétala, quer seja pela heterostilia. A concha da pétala é uma expansão membranososa globosa, originária da pétala. Ela envolve a antera e limita que agentes polinizadores como, insetos, vento e água atinjam a antera e, naturalmente,

dispersem o pólen (Knoke et al., 1980), enquanto que a heterostilia, diferença de comprimento entre o estigma e filamento do androceu, dispõe a antera e o estigma em planos distintos e, cria um afastamento, entre antera e estigma, que também, diminui a probabilidade da transferência da massa polínica pelos agentes polinizadores naturais (Ferri, 1983; Sampayan, 1963).

Há alta diversidade de insetos, potencialmente, polinizadores, de tamanhos variados, que visitam as flores do cacaueteiro, em busca de pólen, néctar e seiva, e que, ativamente, acessam o interior da flor ou da concha da pétala e, até, coletam o pólen, mas, são incapazes de transferir o pólen das anteras para o estigma floral (Hernandez, 1965; Soria, 1970; Soria e Wirth, 1974). A hercogamia e a heterostilia floral, portanto, impedem a efetividade polinizadora dos insetos visitantes da flor do cacaueteiro e, limitam a riqueza de espécies de artrópodes polinizadores a um pequeníssimo número de espécies (Hernandez, 1965; Knoke et al., 1980; Soria, 1970; Soria e Wirth, 1974).

Considerando-se a identidade gênica dos genótipos envolvidos, há dois tipos de polinização: (i) cruzada, caracterizada como transferência de pólen entre flores de plantas de genótipos diferentes e (ii) autopolinização, caracterizada como a transferência de pólen, da antera para o estigma da mesma flor, entre flores da mesma planta ou planta diferente do mesmo genótipo. Na América do Sul, os insetos que, comprovadamente, realizam as polinizações auto e cruzada, no cacaueteiro, são as moscas aladas das espécies, *Forcipomyia blantoni*, na América do sul (Soria, 1970; Soria e Wirth, 1974) e *Forcipomyia spatullifera*, na América Central e México (Hernandez, 1965). Baixas densidades populacionais dessas mosquinhas limitam, intensivamente, a polinização e frutificação no cacaueteiro (Hernandez, 1965; Soria, 1970; Soria e Wirth, 1974).

A efetividade polinizadora, de vários agentes físicos em cacaueteiro, tem sido estudada, desde a década de cinquenta. Alguns agentes se mostraram promissores, outros não. É o caso da água. Foi comprovado que a água pulverizada sobre a flor de cacaueteiro autocompatível não gerou polinização fértil. Ao contrário, foi constatado que as gotículas de água aplicadas, com pulverizador motorizado, sobre flores da variedade autocompatível UF 667, reduziu a eficácia polinizadora do vento seco (Knoke et al., 1980). Em relação à água, foi constatado que, a quantidade de pólen contida nas gotículas da

água, menos de 10 grãos, naturalmente encontradas na flor, não foi suficiente para gerar polinização fértil (Smith, 1950).

O vento é o principal agente físico de polinização natural, em várias espécies vegetais e a polinização realizada pelo vento é denominada de anemófila (Bawa, 1990). Demonstrou-se que o vento artificial aplicado com pulverizador costal motorizado sobre flores de cacauero autocompatível, incrementou a polinização fértil. No cacau comum foi observado incremento de até 200% em relação à polinização entomófila (Soria, 1974). Na variedade UF 667, autocompatível, foi registrado aumento de 475% na frutificação, em relação à polinização entomófila (Knoke et al., 1980).

Nos dias de hoje, em função do aumento dos custos de produção, para garantir a viabilidade econômica da cacauicultura brasileira, é, absolutamente, necessário, buscar o aumento da produtividade e a diminuição dos custos de produção. Neste contexto, a polinização artificial apresenta-se como fitotecnia promissora, porque ela potencializa incrementar a frutificação num pequeno espaço de tempo, concentrando a frutificação e a maturação. A concentração de frutos maduros, permite reduzir o número de colheitas, o qual representa 27% do custo de produção. Deste modo, esta pesquisa visou aferir o impacto da ação de agentes físicos e biológicos sobre a autopolinização e frutificação de cacauero e inferir sobre o impacto da velocidade do vento e da densidade floral na eficácia polinizadora da ventilação artificial em cacauero autocompatível.

Material e Métodos

Instalou-se o experimento, entre o mês de março e outono de 2013, na Fazenda Álamo, no município de Eunápolis, BA. O cacau tinha seis anos de idade e fora plantado em fila dupla. Os espaçamentos eram de 4,3 m entre filas duplas, de 2,3 m entre filas simples e de 2,5 m entre plantas na fila. A densidade, por ha, era de 930 cacaueros CCN51 consorciados com 194 coqueiros anão verde (*Cocos nucifera* L.). O cacau estava fertiirrigado por sistema de micro aspersão, com lâmina de irrigação de sete mm/m²/dia. O solo continha 65% de saturação de bases e 80 mg dm⁻³ de fósforo disponível pelo extrator Mellich 1.

A variável agente de polinização foi dividida em (i) físico e (ii) biológico. O agente físico de polinização foi categorizado em três níveis:

1 - ventilação pela manhã, entre nove e dez horas, com duas passagens de ventilações, no mesmo horário, por dia.

2 - ventilação pela tarde, entre as 13 e 15 horas, com duas passagens de ventilações, no mesmo horário, por dia.

3 - ventilação pela manhã e tarde, com quatro passagens de ventilações por dia, sendo duas ventilações pela manhã e duas pela tarde.

O agente de polinização entomófilo e natural foi categorizado num nível único: mosca polinizadora *Forcipomyia* spp. O período de ventilação foi de vinte dias ininterruptos.

A ventilação foi gerada pelo conjunto pulverizador Jacto PJ 2000 tracionado por trator Valmet (Figura 1). A rotação da tomada de força do trator foi de 2200 rpm e a velocidade do trator foi de 2,7 km/h. O pulverizador possuía um sistema gerador-propulsor de ventilação, composto por um ventilador, condutos centrífugos, aletas direcionais e bocal de saída da ventilação. A velocidade da ventilação foi estimada com anemômetro digital.

O pulverizador gerava e propulsionava o fluxo de ventilação, nas direções equivalentes a de um ângulo de 180°, formando um fluxo de ventilação, em forma de leque aberto (Figura 1). Ao trafegar entre duas linhas de cacaueros, o pulverizador propulsionava a ventilação, desde as bases dos troncos até as partes mais distantes e altas das copas dos cacaueros, das duas linhas de plantas posicionadas uma de cada lado do pulverizador. Assim, as flores presentes, nas partes



Figura 1 – Trator e pulverizador.

mais altas da copa e nos ramos mais finos, também eram ventiladas.

O experimento foi delineado aplicando a ventilação sobre duas filas adjuntas de cacauzeiros. As filas ventiladas também foram polinizadas pela mosca *Forcipomyia* spp. Cada fila media 400 metros e continha, aproximadamente, 160 cacauzeiros. As filas ventiladas foram separadas por duas filas duplas e as filas com polinização da mosca *Forcipomyia* spp. foi locada isolada, das filas ventiladas, por uma distância, aproximada, de trinta metros.

O modelo matemático submetido à análise de covariância, idealizado, aferiu a efetividade dos agentes de polinização, ventilação artificial e *Forcipomyia* spp. Sobre a polinização e frutificação, foi: quantidade de bilro (y) = data da contagem (covariável) x agentes de polinização (ventilação com três categóricas + *Forcipomyia* spp.) x planta.

Com o pulverizador em operação, a ventilação, no interior dos condutos do pulverizador, deslocava-se comprimida, mas, fora dos condutos, após ultrapassar o bocal de saída, livre, ela sofria uma descompressão. Sob a ação da resistência do ar, na proporção que se distanciava do pulverizador, a ventilação diminuía de velocidade e perdia energia. Assim, uma flor, próxima ao bocal de saída da ventilação, era impactada com força maior do que uma flor situada mais longe do pulverizador. Por essa razão, foi hipotecado que, quanto maior a distância entre o ventilador do pulverizador e a flor, então menor seria a velocidade do vento e, em consequência, menor seria a eficiência polinizadora da ventilação.

Para testar esta hipótese, a variável velocidade da ventilação foi substituída pela variável explicativa “distância entre bocal de saída da ventilação e copa do cacauzeiro”. Fez-se a substituição porque, a partir do bocal de saída, a velocidade da ventilação correlaciona-se, inversamente, com a distância. Isto é, fora do conduto do pulverizador, quanto maior a distância percorrida pelo vento, menor a velocidade da massa de ar.

Foram estimadas duas distâncias médias, entre o bocal de saída do vento do pulverizador e as flores nos ramos, das várias regiões da copa do cacauzeiro. As duas distâncias médias foram estimadas, tomando como referências, o espaçamento da entrelinhas onde trafegava o pulverizador-trator e um plano vertical

imaginário passando pela linha de plantio ou troncos dos cacauzeiros. Considerando-se o plano vertical imaginário, a copa do cacauzeiro ficava dividida em duas faces ou regiões. Uma face da copa, em frente e perto do pulverizador e, outra face da copa situada, mais longe, a partir do tronco da planta ou depois do plano vertical imaginário, orientado na mesma direção da linha de plantio.

O espaçamento entre as filas duplas era de 4,3 m e diâmetro do bocal circular de saída da ventilação era de 1,3 m. Assim, para a face da copa situada em frente e perto do pulverizador, a distância entre o bocal de saída da ventilação até o plano vertical imaginário, passando pelo centro da planta, foi estimado variar entre 0,0 a 1,5 m. Para a face da copa situada após o plano vertical e mais longe do pulverizador, a partir do centro da planta, a distância, entre o bocal de saída da ventilação até o extremo oposto da copa, foi estimada variar entre 1,5 até 3,0 m.

A distância entre o bocal de saída do vento e as flores na copa era variável porque, a partir do tronco ou centro da planta, os ramos se projetavam, radialmente, ou se afastando ou se aproximando do bocal de saída da ventilação. Assim, para avaliar distância como variável explicativa categórica, nas avaliações, as polinizações e frutificações, observadas nas duas regiões ou faces da copa, foram contabilizadas em separado. Na análise de covariância, a variável distância foi categorizada em perto e longe.

Os caracteres relacionados à florescência, quantidade de almofada floral por ramo, dimensão da almofada floral e quantidade de flor por almofada floral são de natureza genética e específicas de cada variedade. Elas definem a densidade floral potencial da planta (Machado, 1979; Vogel et al., 1981; Enriquez, 1985; Zuniga, 1985).

A densidade de almofada floral do cacauzeiro, submetida às forças sazonais dos fatores do ambiente, em presença de recursos agroecológicos adequados para a planta e sob a ação das principais interações fisiológicas e fenológicas, tais como, intensidade fotossintética, frutificação e lançamento foliar, faz a florescência variar ao longo das estações do ano e do tempo ecológico (Alvim et al., 1972; Alvim et al., 1974; Alvim, 1993; Machado, 1979; Alvim, 1984; Vogel et al., 1981).

De fato, a flor é formada, principalmente, na almofada floral presente no ramo plagiotrópico do

cacauero adulto, mas o ramo ortotrópico de idade, também, forma almofada floral e flor. A almofada floral emerge e desenvolve-se no ramo onde, originalmente, havia um pecíolo foliar. Ao longo do ano, há sucessivos lançamentos foliares anuais (Machado, 1979; Enriquez, 1985; Zuniga, 1985). Assim, os ramos finos e jovens, com diâmetros menores que 1,5 centímetros e com menos de 18 meses de idade, carregam pequenas e jovens almofadas florais, em desenvolvimento e, por isso, produzem menos flores, mas estas flores são viáveis e, se polinizadas, produzem frutos.

Num cacauero, com o envelhecimento das plantas, o incremento do diâmetro do ramo aumenta a dimensão da almofada floral e seu potencial floral. Na maioria das variedades de cacau, as almofadas florais, maiores e com alto potencial produtor de botões florais e flores, concentram-se no tronco e ramos mais velhos e mais grossos (Machado, 1979; Zuniga, 1985). Portanto, a quantidade de almofada floral está relacionada, proporcionalmente, a quantidade de ramos presente na copa da árvore. Por esta razão, neste experimento a variável densidade de flores, metodologicamente, de maior dificuldade de mensuração, foi substituída pela variável quantidade de ramos/face de copa. Tomando como referência, o plano imaginário vertical no centro da planta, na mesma direção da linha de cacauero, os ramos foram contados considerando-se as faces, perto e longe, da copa dos cacaueros.

Num cacauero monovarietal, mesmo quando em pleno florescimento, as plantas apresentam intensidade de florescimento muito variável. Visando selecionar e

reduzir a diferença de florescência entre as plantas experimentais, empregou-se uma escala de florescência de zero a dez, onde zero equivaleu à ausência de almofada ativa (sem flor) e dez equivaleu 100% das almofadas em florescência (com flor). No experimento, foram selecionadas e marcadas 25 plantas por nível categórico dos agentes de polinização, com notas de florescências variando entre cinco até oito, em média, equivalendo a 200 flores abertas por dia.

Um dia antes do início da ventilação, todas as flores abertas e bilros de vários estágios das plantas foram removidas, mantendo-se somente os botões florais. Para quantificar a intensidade de polinização fértil, nas avaliações foram contabilizadas as frutificações tipos bilro-pétala (Figura 2), bilro-sépala (Figura 3) e bilro liso (Figura 4) por face da copa.

Na fase bilro-pétala, o fruto exibiu a região do ovário arredondada, estigma enegrecido, presença de pétala praticamente seca e, a fase durava até sete dias. Na fase bilro-sépala, o fruto apresentava-se alongado, com menos de um e meio centímetros de comprimento, estigma seco e enegrecido, sépala floral entre viva até, quase totalmente, seca e a fase durava até 11 dias. Na fase bilro-liso, o fruto apresentava-se com formato alongado, sépala vestigial ou ausente, comprimento variando de um até 12 cm. Foi considerado bilro-liso o fruto em desenvolvimento até a idade de 60 dias. Todas as frutificações emergidas foram marcadas com alfinete, para acompanhar o crescimento e avaliar o abortamento. Os bilros abortados foram desconsiderados.

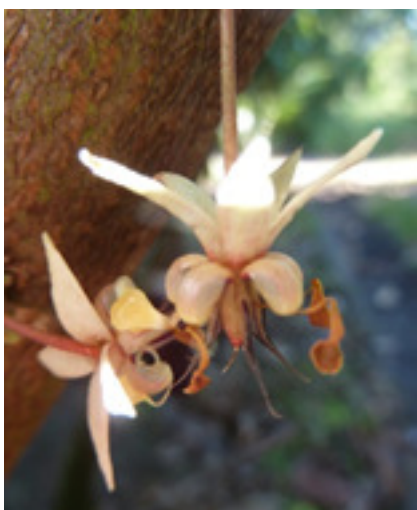


Figura 2 - bilro-pétala.



Figura 3 - bilro-sépala.



Figura 4 - bilros-lisos.

O modelo matemático submetido à análise de variância, idealizado para inferir sobre o impacto da velocidade do vento e da densidade de flor sobre a eficácia polinizadora da ventilação artificial sobre a flor de cacaueteiro autocompatível, foi: quantidade de fruto (y) = data (dias após início da ventilação) x planta x distancia do pulverizador à copa (categórica com dois níveis: perto (zero a 1,5) m e longe (1,5 até 3,0) m) x quantidade de ramo/face da copa.

A análise estatística foi processada no programa R (Venables et al., 2000). A crítica das distribuições dos erros dos dados foi desenvolvida conforme os procedimentos preconizados para os Modelos Lineares Generalizados (GLM) (Crawley, 2002).

A análise dos dados foi composta de análises de covariância, ANCOVA (Crawley, 2002), e análises de variâncias (Anovas). Nas Ancovas, a co-variável foi o número de dias após o início da ventilação. As aditividades dos termos das variáveis explicativas, objetivando a simplificação do modelo e a detecção das variáveis não significativas e significativas foram criticadas aplicando o teste F, a 1% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Verificou-se que o desenvolvimento do fruto ocorreu nos primeiros dias, imediatamente, após a ventilação, polinização e fertilização. Após a polinização, os frutos passaram pelos estádios de bilro-pétala (Figura 2), bilro-sépala (Figura 3) e bilro-liso (Figura 4).

Nas avaliações, a visualização dos bilros pequenos foi dificultada, principalmente, dos bilros formados nos ramos, no alto da copa, em meio à folhagem. Esses bilros tornaram-se visualizáveis só após atingirem comprimento acima de 1,5 cm. Assim, a fração de bilros gerados pelas ventilações realizadas no final do período de ventilação (20 dias), foi detectada depois de decorridos 15 a 20 dias após a suspensão da ventilação.

A partir do 14º dia, foi constatado bilros-lisos, de comprimento entre 1,0 até 1,3 cm, com pequenas lesões na casca. Estas lesões em bilros foram observadas nas avaliações do 26º e 40º dias. Nas avaliações do 55º e 60º dias, confirmou-se que os

frutos lesionados desenvolveram-se com cicatrizes na casca, mas não abortaram e nem houve enfermidades sobre os mesmos.

A análise estatística dos impactos dos agentes de polinização sobre a frutificação, confirmou que os agentes de polinização, ventilação e a mosca *Forcipomyia* spp., impactaram e, significativamente, modificaram a intensidade de polinização e frutificação (Tabela 1). A análise estatística, também, demonstrou que a variável "planta" impactou, significativamente, a intensidade de polinização e frutificação (Tabela 1), conquanto, antes da aplicação da ventilação, tenham sido selecionadas plantas com florescências próximas.

O impacto dos agentes de polinização, ventilação e *Forcipomyia* spp., pode ser constatado através da frutificação gerada, ao longo dos 69 dias de avaliação (Tabela 2). A ventilação matutina aumentou a frutificação até o 26º dia de avaliação (seis dias após a suspensão da ventilação). A ventilação vespertina incrementou a frutificação até o 14º dia da avaliação e decresceu a partir do 26º dia (Tabela 2).

A polinização entomófila natural, realizada pela mosca *Forcipomyia* spp. foi a que menos incrementou a polinização e frutificação (Tabela 2). No período até 40 dias, os cacaueteiros polinizados, naturalmente, pela mosca *Forcipomyia* spp. geraram e acumularam a média de 2,4 frutos/planta, e, aos 69 dias, só haviam permitido vingar 0,6 frutos/planta (Tabela 2).

Esta baixa frequência de polinização entomófila natural deve ser, preferencialmente, atribuída a uma baixa densidade populacional de mosca polinizadora. As condições de temperatura alta, frequentes no verão, desfavorecem a multiplicação das larvas da *Forcipomyia*, as quais se criam, somente, quando consegue sobreviver sobre úmida matéria orgânica vegetal, em decomposição primária (Soria e Wirth, 1974; Besemer & Soria, 1978).

Tabela 1 - Anova da frutificação do cacaueteiro em resposta ao horário de ventilação, polinização da *Forcipomyia* spp. e planta

Causa de variação	g.l.	Variância Residual	F	Pr (> F)
Ventilação (manhã, tarde, manhã e tarde) <i>Forcipomyia</i> spp	3	16757	42,499	< 2,2e-16***
Planta	1	5973	45,446	8,38E-08***
Ventilação x planta	3	4628	11,736	0,0002784***
Resíduo	292	38379		
Total	299	65737		

Tabela 2 - Frutificação (bilro/planta) do cacauero em resposta ao horário de aplicação da ventilação e polinização da *Forcipomyia* spp.

Agente de polinização	Dias após início da ventilação						Incremento %
	10	14	26	40	55	69	
	Numero de bilros por planta						
Vento Tarde	8,12	17,8	26,2	23,4	25,6	27,8	4527
Vento Manhã	5,64	18,3	11,0	15,4	13,0	8,08	1347
Vento Manhã-Tarde	4,56	8,80	8,24	7,76	7,36	5,00	833
<i>Forcipomyia</i> spp.	1,84	2,60	2,28	2,40	2,28	0,60	-

Em relação à polinização natural, os turnos de ventilação que mais incrementaram a polinização e frutificação, em ordem decrescente, foram: ventilação vespertina (4527%), ventilação matutina (1347%) e a dupla ventilação matutina e vespertina (833%) (Tabela 2). Isto é, a polinização da ventilação vespertina foi 3,4 vezes maior que a polinização gerada pela ventilação matutina e 5,4 vezes maior que a polinização gerada pela dupla ventilação diária, matutina e vespertina.

A maior eficácia polinizadora da ventilação vespertina admite duas explicações, a seguir: estado de maturação da antera e turgidez hídrica da flor no momento da ventilação. Em geral, a abertura das flores (antese) do cacauero é iniciada ao final da madrugada, entre 04:00 e 05:00h, mas a maioria da florescência ocorre entre 06:00 e 09:00h (Soria, 1974). Em condições de campo, na variedade CCN51, verifica-se que, antes da deiscência, a coloração da antera é branco-leitosa, e, depois da deiscência, a antera adquire a coloração pérola-amarelado.

Nas avaliações, foi observado, na variedade CCN51, que a maioria das anteras, entre 06:00 e 09:00h apresentava aspecto esbranquiçado, ainda, indeiscente e, depois das 11:00h, uma coloração, francamente pérola-amarelada. No período vespertino, é possível que a maioria das flores já tenha realizada a deiscência das anteras, liberando a massa polínica. Desse modo, a probabilidade de um choque mecânico, entre antera e estigma, transferir a massa de pólen da antera para o estigma é maior no período vespertino e menor no matutino.

O estado de turgescência hídrica da flor e de seus componentes anato-morfológicos, tais como pedúnculo, pétala, concha petaloide, antera e estigma pode ter incrementado a polinização nas plantas ventiladas de tarde. É possível que pela manhã, o estado de turgidez hídrica da flor seja maior do que o estado hídrico da

tarde, pois de tarde, a umidade relativa do ar é frequentemente mais baixa do que pela manhã, podendo a flor ser mais desidratada. A menor turgidez hídrica do pedúnculo floral e demais tecidos florais à tarde, pode permitir maior vibração da flor e incrementar o deslocamento da concha da pétala. O deslocamento

da concha pode aumentar a frequência de anteras expostas, incrementar a probabilidade da colisão entre antera e estigma e, finalmente, aumentar a frequência de autopolinização.

A intensidade de autopolinização e frutificação da dupla ventilação diária, matutina e vespertina, foi menor do que as polinizações e frutificações geradas pelas ventilações diárias únicas, matutina ou vespertina (Tabela 2). Este resultado inesperado pode ser atribuído a uma provável remoção, pela ação da ventilação vespertina, da massa polínica adicionada ao estigma, e pela ação da ventilação matutina. Esta remoção pode ter ocorrido porque, a fertilização, dos gametas femininos pelos grãos de pólen (oósporos), predominantemente, ocorre entre quatro a seis horas, após a deposição do pólen no estigma. Este hiato de tempo é necessário, para que os tubos polínicos germinem, se desenvolvam e alcancem os óvulos no ovário (Cheesman, 1927).

As ventilações matutinas foram realizadas entre 9 e 10 horas e as ventilações vespertinas entre 13 e 15 horas. Isto é, os intervalos diários entre as ventilações matutina e vespertina foram iguais ou menores que 5 horas. Este tempo pode ter sido insuficiente para permitir que, a maioria dos pólenes transferidos pelas ventilações matutinas, já tivesse germinado no momento da realização das ventilações vespertinas. A despeito das hipóteses explicativas, conclui-se que a dupla ventilação diária deve ser rejeitada.

A análise de variância da variável quantidade de ramo por face da copa do cacauero confirmou, de modo significativo, que a quantidade de ramo presente em cada face da planta foi determinante na quantidade de flores polinizadas e da frutificação (Tabela 3). De modo, também significativo, a análise de variância confirmou que a variável planta impactou a intensidade de polinização e frutificação promovida pela ventilação

(Tabela 3). Por último, a análise de variância confirmou que, a interação das variáveis planta e quantidades de ramo/face da copa é significativa e que modifica a intensidade de polinização e frutificação (Tabela 3). Estes resultados garantem que, quanto maior o número de ramos na copa ou quanto mais ramos uma planta possui na sua estrutura, então maior será a frequência de flores polinizadas em resposta a uma dada intensidade de ventilação artificial.

A quantidade de ramo por face da copa ou planta foi adotada como variável explicativa, por questões de facilidade metodológica, em substituição às variáveis quantidades de flor e almofada floral ativa, conquanto, estas variáveis, sabidamente, fossem as mais adequadas e precisas para aferir a resposta da polinização ao impacto da ventilação artificial. Este procedimento metodológico foi válido porque a densidade de flor e a quantidade de almofada floral relacionam-se, diretamente, com quantidade de ramo, uma vez que são os ramos dos cacaueiros que carregam as almofadas florais e flores. Isto é, para um dado genótipo, em florescência, quanto maior as quantidades de ramo na planta, também, maiores serão as quantidades de almofadas florais e flores. Do mesmo modo, a face da copa com maior número de ramos também terá mais almofada floral e mais flor.

Visto que a quantidade de ramos da copa incrementou a polinização e frutificação então podemos inferir que, para uma mesma intensidade de ventilação artificial, o aumento na densidade de flor incrementa a frequência de flores polinizadas. Ou seja, quanto maior a densidade de almofada floral por ramo e por planta, maior será a densidade de flor exposta à ventilação, elevando a efetividade polinizadora da ventilação em cacau auto compatível.

A análise estatística da variável "distância entre o bocal do ventilador e a copa do cacaueiro", categorizada em dois níveis, face perto (0,0 a 1,5) m e face longe (1,5 até 3,0) m, confirma que a

maior distância, entre o bocal da saída da ventilação e a copa do cacaueiro, reduziu de modo significativo, a polinização e a frutificação (Tabela 3).

O impacto do aumento da distância, entre copa e bocal de saída da ventilação do pulverizador, sobre a polinização e frutificação, pode ser visualizado na Tabela 4. Constata-se que a frutificação da face da copa mais perto, em frente ao pulverizador foi, ao longo do período avaliado, sempre maior do que a frutificação na face da copa mais longe do pulverizador. As diferenças, entre as frutificações das duas faces da copa, foram mais acentuadas nas ventilações vespertina e matutina. Portanto, quanto menor a distância entre o pulverizador e a copa da planta, maior a eficácia polinizadora da ventilação artificial.

A velocidade do vento foi estimada variar entre 80 a 110 km/hora, aproximadamente, a uma distância de 0,3 m do bocal de saída da ventilação. Na ventilação artificial, a velocidade do vento decresce com o aumento da distância entre copa e pulverizador, então pode assumir-se que a velocidade do vento, na face da copa em frente ao ventilador, era maior que a velocidade do vento na face mais longe e oposta da copa. Como a frutificação da face da copa mais perto

Tabela 3. Anova da frutificação em resposta à distância de aplicação da ventilação, quantidade de ramos por face da copa e planta

Causa de variação	g.l.	Variância Residual	F	Pr (> F)
Distância do pulverizador à copa (perto (0 a 1,5) m e longe (1,5 até 3,0) m)	1	1121	17,625	0,02994***
Número de ramos/face da copa	1	1065	16,738	0,0473***
Planta	1	3704	58,236	6,66 e-11***
Número de ramo x planta	1	2728	42,898	1,04 e-07***
Resíduo	795	50564		
Total	799	59181		

Tabela 4 - Frutificação (bilro/planta) em função do horário e distância entre pulverizador e copa da planta durante a ventilação

Agente de polinização	Dias após o início da ventilação motomecanizada							
	26	26	40	40	55	55	69	69
	Distância (m) entre pulverizador e copa (perto e longe)							
	Perto	Longe	Perto	Longe	Perto	Longe	Perto	Longe
	0 a 1,5	1,5 a 3,0	0 a 1,5	1,5 a 3,0	0 a 1,5	1,5 a 3,0	0 a 1,5	1,5 a 3,0
Vento-Tarde	16,44	9,76	14,68	8,68	15	10,56	15,92	11,84
Vento Manhã e Tarde	4,32	3,92	4,36	3,4	4,12	3,24	3,64	1,36
Vento-Manhã	7,36	3,6	9,76	5,64	7,48	5,56	4,24	3,84
<i>Forcipomyia</i> spp.	1,32	0,96	1,72	0,68	1,4	0,88	0,32	0,28

do ventilador foi maior do que a frutificação da face da copa mais longe, então, infere-se que a polinização e a frutificação respondem ao aumento da velocidade do vento gerado pela ventilação.

Pesquisas com pulverizador costal motorizado demonstraram que a eficácia polinizadora da ventilação artificial depende da velocidade do vento. Foi comprovado que ventos, de alta velocidade, gerados por pulverizador costal motorizado, aplicados sobre a flor de cacauero, incrementaram a polinização fértil em cacauero autocompatível. Os incrementos variaram entre 200% a 500% (Soria, 1974; Knoke et al., 1980). Por outro lado, estudos envolvendo a anemofilia artificial e dispersão do pólen, em laboratório, confirmaram que a consistência viscosa da massa polínica impedia que o vento, de baixa velocidade, artificialmente produzido, removesse a massa polínica da antera (Smith, 1950).

Um próximo desafio tecnológico, para viabilizar a tecnologia polinização ventilada em cacau, é desenvolver uma tecnologia que permita incrementar, uniformizar e concentrar a florescência em todos os cacaueros de um cacauel.

Conclusões

Os resultados da pesquisa mostram que a intensidade de florescimento da planta é condição fundamental para obter a máxima frequência de polinização para uma mesma intensidade e frequência de ventilação artificial.

A eficácia polinizadora da ventilação artificial é elevada quando a flor é atingida por ventos com velocidade entre 80 a 110 km/hora.

A ventilação (80 a 110 km/hora) causou lesões em frutos e cicatrizes na casca, mas sem refletir negativamente no aborto, nem em enfermidades dos frutos.

Agradecimentos

Ao Sr. Fernando D'Martins, proprietário da Fazenda Álamo, por ter disponibilizado os equipamentos e o cacauel para execução da pesquisa.

À valorosa e aguerrida equipe composta pelos companheiros de trabalho: José Raimundo Maia dos Santos; Gilmar Batista Costa; Jose Eduardo Silveira; Jose Crispim Soares do Carmo e Valmir Paulino dos Santos, pela dedicação ao trabalho.

Literatura Citada

- ALVIM, P. de T. 1993. Hydroperiodicity of flowering and flushing of cacao. In: International Cocoa Research. Conference, 11º, Yamoussoukro, Côte D'Ivoire. Proceedings. Lagos, Nigeria, Cocoa Producer's Alliance. pp. 625.
- ALVIM, P. de T.; MACHADO, A. D.; VELLO, F. 1972. Physiological responses of cacao to environmental factors. In: International. Cocoa Research. Conference, 5º, Trinidad y Tobago. Proceedings. Lagos, Nigeria, Cocoa Producer's Alliance. pp.17.
- ALVIM, P. de T. 1984. Flowering of cocoa. Cocoa Growers Bulletin 35:23-29.
- ALVIM, P. de T.; MACHADO, A. D.; VELLO, F. 1974. Physiological responses of cacao to environmental factors. Revista Theobroma (Brasil) 4:3-25.
- BAWA, K. S. 1990. Plant-pollinator interactions in tropical rain forest. Annual Review of Ecology and Systematics 21:399-422.
- BESEMER, H; SORIA, S. J. 1978. Laboratory rearing of *Forcipomyia* spp. Midges (Díptera, Ceratopogonidae). 1-Adult feeding, larval feeding and copulation trials. A revision of saunders method of rearing. Revista Theobroma (Brasil) 8:43-59.
- CHEESMAN, E. E. 1927. Fertilization and embryogenic in *Theobroma cacao* L. Annual of Botany 41:107-126
- COPE, F. W. 1962. The mechanism of pollen incompatibility in *Theobroma cacao* L. Heredity 17:157-182.
- COPE, F.W. 1958. Incompatibility in *Theobroma cacao*. Nature 181:279-279.
- CRAWLEY, M. J. 2002. Statistical computing: an introduction to data analysis using S-Plus. England, John Wiley & Sons, Ltd. England. 761p.
- ENRIQUEZ, G. 1985. Curso sobre el cultivo del cacao. Turrialba.(Costa Rica). CATIE. 239p.
- FERRI, M. G. 1983. Botânica - Morfologia externa das plantas. Editora Nobel. 152p.
- HERNANDEZ, J. 1965. Insect pollination of cacao-*Theobroma cacao* L, in Costa Rica. Ph. D. Thesis. Madison, Wisconsin, University of Wisconsin.167p.

- KNOKE, J. K.; SORIA, S. J.; CHAPMAN, R. K. 1980. Cacao pollination with spray equipment, in Costa Rica. *Revista Theobroma (Brasil)* 10(4): 213-224.
- LUNDQVIST, A. 1975. Complex self-incompatibility systems in angiosperms. *Proceedings Royal Society London, B* 188:235-245.
- MACHADO, R. C. R. 1979. Fisiologia do crescimento, floração e frutificação do cacauero. Ilhéus, BA. 10p.
- NETTANCOURT, D. 1997. Incompatibility in angiosperms. *Sexual Plant Reproduction* 10(4): 185-199.
- POUND, F. J. 1932a. The genetic constitution of cacao crop. ICTA. First Annual Report on Cacao Research, St. Augustine, Trinidad. pp.10-24
- POUND, F. J. 1932b. Studies of fruit fullness in cacao. II. Evidence for partial sterility. In: ICTA. First Annual Report on Cacao Research St. Augustine, Trinidad. pp.26-28
- POUND, F. J. 1935a. A note on a method of controlled pollination of cacao. In: ICTA. Annual Report 4th. 1934. St. Augustine, Trinidad. pp.15-16.
- POUND, F. J. 1935b. Studies of fruitfulness in cacao. V. Conditional Self-compatibility and its implications. ICTA. Annual Report 4th. 1934. St. Augustine, Trinidad. pp.26-32.
- SAMPAYAN, T. S. 1963. Flower structure and Biology in cacao. *Coffee and Cacao Journal* 6(131):144-145.
- SEAVEY, S.; BAWA, K. 1986. Late-acting self-incompatibility in angiosperm. *Botanical Review* 52:119-219.
- SMITH, A. G. 1950. Pollination of cocoa in Costa Rica. M.A. Thesis. Inter-Ámerican Institute of Agricultural Science. Turrialba, Costa Rica. 43p.
- SORIA, S. J. 1970. Studies on *Forcipomyia* spp. midges (Diptera, Ceratopogonidae) related to the pollination of *Theobroma cacao* L. *Dissertation Abstracts International* 31(5):2744-B.
- SORIA, S. J. 1974. Indução da produção em cacauero com uso de atomizador motorizado portátil na Bahia, Brasil. *Revista Theobroma (Brasil)* 4(2):3-13.
- SORIA, S. J.; WIRTH, W. W. 1974. Identidade e caracterização taxonômica preliminar das mosquinhas *Forcipomyia* spp. (Díptera, Ceratopogonidae) associadas à polinização do cacauero na Bahia. *Revista Theobroma (Brasil)* 4(1):3-22.
- VENABLES, W, et al. 2000. Introduction to R. R Development Core Team. <http://www.r-project.org/>
- VOGEL, M.; MACHADO, R. C. R.; ALVIM, P de T. 1981. Remoção de órgãos jovens como método de avaliação das interações fisiológicas no crescimento, floração e frutificação do cacauero. In: International Cocoa Research Conference, 8°. Cartagena, Colômbia. *Proceedings*. Lagos, Nigeria, Cocoa Producer's. pp.215.
- ZUNIGA, A. M. M. 1985. Estudio fenológico y patológico del cacao en la zona de San Carlos. Tesis BsC. Santa Clara, San Carlos (Costa Rica). ITCR. 60p.