

EDUARDO CASTANHO FERRAZ

ENGENHEIRO - AGRÔNOMO

ESTUDOS SÔBRE O MOMENTO EM QUE A
GEADA DANIFICA AS FÔLHAS DO CAFEIRO
(*Coffea arabica* L. var. **Mundo-novo**)

Tese para obtenção do título de
Doutor em Agronomia, apresentada
à Escola Superior de Agricultura
"Luiz de Queiroz", da Universidade
de São Paulo

PIRACICABA, S. P.

1968

Ao Dr. ÂNGELO PAES DE CAMARGO,
grãnde estudioso das geadas,

Ofereço

Ao Prof. Cat. WALTER RADAMES ACCORSI,
a quem devemos nossa iniciação científica,

Homenagem

A G R A D E C I M E N T O S

Durante a realização dêste trabalho o autor recebeu a colaboração de diversas pessoas. Em particular deseja agradecer aos senhores:

Prof. Cat. Walter Radamés Accorsi, orientador do candidato.

Prof. Cat. Ferdinando Galli, Prof. Cat. Admar Cervellini, Eng^o Agr^o Altino Aldo Ortolani e Eng^o Agr^o Hernani Godoy, pelo empréstimo de aparelhos, laboratórios e publicações científicas.

Dr. Alcides Carvalho, pelas mudas de cafeeiro utilizadas nos ensaios.

Eng^o Agr^o Antonio Sanchez de Oliveira e Técnico - Dylmar Rochelle pelo auxílio na montagem dos ensaios de campo.

Dr. Humberto de Campos, pela orientação prestada na parte de estatística.

Dr. Ângelo Paes de Camargo e Dr. Coaracy M. Franco, pelas valiosas sugestões na preparação dos ensaios e leitura do manuscrito.

Eng^o Agr^o Rubens Álvaro Bueno, pela fidalga acolhida e por ter posto à sua disposição as facilidades e recursos do Horto Florestal de Campos do Jordão.

A todos o seu profundo reconhecimento.

C O N T E Ú D O

	<u>Página</u>
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	4
3. MATERIAL E MÉTODO	10
3.1. Ensaio em condições naturais de geada	10
3.2. Ensaio em laboratório	15
3.2.1. Determinação da temperatura de conge lação da fôlha e do valor do sub-reg friamento	17
3.2.2. Determinação da temperatura letal e dos efeitos da duração do período de tempo em que a planta permanecia nes ta temperatura	17
3.2.3. O efeito da rapidez do descongelamen to	19
4. RESULTADOS	20
4.1. Efeito da radiação solar e da cobertura durante a noite	20
4.2. Determinação da temperatura de conge lação da fôlha e do valor do sub-reg friamento	32
4.3. Determinação da temperatura letale dos	

(continua)

C O N T E Ú D O (Continuação)

	<u>Página</u>
efeitos da duração do período de tempo em que a planta permanecia nesta temperatura	33
4.4. O efeito da rapidez do descongelamento	34
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	37
5.1. Efeito da radiação solar e da cobertura durante a noite	37
5.2. Determinação da temperatura de congelação da fôlha e do valor do sub-resfriamento	43
5.3. Determinação da temperatura letal e dos efeitos da duração do período de tempo em que a planta permanecia nesta temperatura	44
5.4. O efeito da rapidez do descongelamento	46
5.5. Ensaio de campo e de laboratório	46
6. CONCLUSÕES	48
7. RESUMO	50
8. SUMMARY	52
9. BIBLIOGRAFIA CITADA	54
10. APÊNDICE	59

1. INTRODUÇÃO

Um problema sério com que se defronta a cafeicultura brasileira reside na ocorrência de geadas. Estas não apenas impedem que regiões de ótima fertilidade e abundante mão-de-obra sejam aproveitadas para aquela cultura, como ainda, periódicamente, causam danos em regiões tradicionalmente cafeeiras.

Não obstante os trabalhos sobre o efeito das geadas em cafeeiros sejam muitos, como se pode verificar pela revisão bibliográfica, os dados básicos sobre o comportamento fisiológico do cafeeiro submetido às geadas são poucos ou incompletos. Existe discordância sobre fatos de importância capital, não havendo acôrdo sequer sobre se os danos provocados pela geada no cafeeiro ocorrem durante o congelamento, enquanto as plantas estão congeladas ou apenas é quando o desconge-

lamento fôr rápido. São também incompletos os dados sôbre a temperatura de congelação dos tecidos, sôbre a temperatura letal, sôbre o valor do sub-resfriamento.

A exiguidade dêstes dados compromete o desenvolvimento de meios de combate eficientes à geada. Por exemplo, um dos mais promissores dos métodos de combate é o da nebulização artificial da atmosfera. Mas é mister inicial resolver se devemos aplicá-lo para evitar que a temperatura caia - abaixo de um nível em que pode ocorrer a congelação da fôlha ou se a sua aplicação deverá se fazer pouco antes do aparecimento dos raios solares, para que o descongelamento se faça lentamente.

Neste trabalho estudamos os seguintes fatos:

- a) o efeito do descongelamento ao sol ou à sombra,
- b) o efeito protetor de abrigos durante a noite,
- c) a temperatura de congelamento dos tecidos da fôlha do cafeeiro.
- d) a temperatura letal.
- e) a temperatura de sub-resfriamento.
- f) se a duração do período de tempo em que a planta permanecia congelada era importante.

Os itens a e b foram comprovados em condições naturais de geada, ao passo que os demais em laboratório.

Com todos êsses dados podemos determinar o mo-

mento em que a geada causa os danos às fôlhas do cafeeiro, que aliados às outras informações acima citadas, oferecem uma base firme ao desenvolvimento de meios de combate. Ainda, se a morte se desse durante o descongelamento, pretendíamos esclarecer o papel dos raios solares no processo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Embora desde os tempos de Aristóteles e Teofrasto o homem já se preocupasse em saber de que maneira o frio causava danos às plantas, foi só a partir de meados do século XVIII e início do XIX que os trabalhos passaram a se realizar com certo rigor científico. Foi por esta época que a teoria do calor vital passou a ser desacreditada, pois se verificou que muitas plantas podiam se congelar e continuar vivas - no degelo. Por outro lado, cedo se verificou que quando ocorriam danos sempre havia formação de gelo no interior da planta. Nunca houve, entretanto, acôrdo completo sobre a razão pela qual este gelo produziria os danos (PARKER, 1963).

Segundo LEVITT (1956), SACHS considerava que, embora os danos pudessem se originar com a congelação, a morte ocorria durante o descongelamento, e que um descongelamen

to rápido era mais prejudicial que um lento. GÖPPERT, in PARKER (1963), considerava exatamente o contrário, ou seja, que a morte se dava quando o gelo se formava. Para provar este fato, trabalhava com plantas cujas pétalas mudavam de cor ou odor quando mortas, e demonstrava que tais mudanças já se notavam durante o congelamento. Cada uma destas teorias é defendida por uma grande série de autores, como se pode ver nas revisões de LEVITT (1956) ou PARKER (1963).

Tal controvérsia nunca foi completamente esclarecida, em parte porque, como bem aponta PARKER (1963), a morte nos vegetais não é um processo instantâneo, mas pode durar horas ou mesmo dias. LEVITT (1956) adota posição conciliatória, considerando que em plantas que morrem a temperaturas próximas do ponto de congelação, a rapidez do degelo não importa, mas naquelas em que tais temperaturas são distanciadas entre si, um descongelamento rápido é muito mais prejudicial que um lento.

No Brasil, os primeiros trabalhos publicados consideravam o descongelamento rápido, provocado pelos raios solares, como o principal causador da morte das plantas. PAULA (1880) foi um dos primeiros. GRANATO (1907) via no sol não apenas o causador de um descongelamento rápido como ainda considerava que "cada gota de água, funcionando como uma lente, sob a influência do sol queima as plantas".

O primeiro artigo escrito em bases científicas sobre a geada foi de D'UTRA (1919). Para este autor, seria a rapidez do degelo o fator principal causador dos danos provocados pela geada. A influência de seu trabalho foi enorme. Com exceção de um artigo de PADUA DIAS (1922), e, de uma conferência de SAMPAIO FERRAZ (1923), via de regra, os trabalhos publicados até 1957 atribuem ao descongelamento rápido, provocado pelos raios solares, o papel de principal responsável pelos danos decorrentes de uma geada. MATTOS (1923), AMARAL .. (1925), PIETTRE (1925), MATTOS (1927), MENEZES (1942), CAMARGO & TELLES (1953), FERREIRA FILHO (1953), CHAVES (1953), BICUDO (1956), para citar alguns entre muitos, consideravam os danos como provocados por um rápido descongelamento ocasionado pelos raios solares.

Foi a partir de 1954 que, entre nós, se iniciaram realmente as pesquisas, em bases científicas, sobre os efeitos das geadas na vegetação. SCHROEDER (1954) inicia os estudos de microclimatologia e, embora não o afirmasse textualmente, parece ter concluído que o sol não tinha importância maior (SCHROEDER, 1957). Embora o mesmo possa ser dito de PAZZANEZE (1950), foi apenas com os trabalhos de CAMARGO, SALATI & GODOY (1957), que o efeito do sol foi posto em dúvida. Artigos de CAMARGO & SALATI (1960) e CAMARGO & SALATI (1966), também não atribuem qualquer efeito da insolação solar aos da

nos decorrentes da geada em cafeeiro, ao passo que GRANER & GODOY (1960), HESS (1965) e GRANER & GODOY (1967) defendem ponto de vista contrário.

O estudo das temperaturas letais para as folhas do cafeeiro foi realizado por CAMARGO, SALATI & GODOY (1957), CAMARGO & SALATI (1960) e com mais especificidade por CAMARGO & SALATI (1966). Na verdade, em tôdas estas determinações, a temperatura das folhas não foi medida, mas sim a do ar em suas vizinhanças. Esta é quase sempre superior à temperatura das folhas nas geadas de irradiação, atingindo esta diferença com frequência 2 ou mais graus centígrados (WAGGONER & SHAW, 1952, SANTOS, SALATI & ACCORSI, 1958). Além disso, leituras feitas em termômetros de mínima desabrigados não fornecem dados precisos da temperatura do ar ambiente (SANTOS, 1960). Em virtude dêstes fatos, os dados obtidos nestes trabalhos devem ser considerados levando-se em conta suas limitações. Segundo o mais recente dêles (CAMARGO & SALATI, 1966), temperaturas entre 0°C e -2°C lidas em termômetro de mínima desabrigados junto às folhas, geralmente não causam danos; os primeiros danos ocorreram quando a temperatura nessas condições cai abaixo de -2°C e danos graves apareceram quando a temperatura atinge -3°C.

FRANCO (1958), mediante a circulação de salmoura resfriada em tórno do caule de cafeeiros jovens, obteve da

dos semelhantes, pois os tecidos não sofreram danos com temperaturas entre 0°C e -2°C , mas temperaturas entre -2°C e -4°C provocavam estrangulamento do caule na região.

Faltam também, para o cafeeiro, dados sobre a temperatura do sub-resfriamento. Embora LUCAS (1954) tenha encontrado diferenças de até 10°C entre a temperatura de super-resfriamento e a temperatura de congelação, trabalhando com Citrus sp., estes valores para condições de campo são geralmente menores (PARKER, 1963). Além disso, segundo LEVITT (1956), varia bastante mesmo para uma dada planta.

Para as determinações de temperatura dos órgãos vegetais delicados, utilizam-se muito, atualmente, os pares termoelétricos (WAGGONER & SHAW, 1952; LUCAS, 1954; SALATI, 1958; FERRAZ, 1967). Além de pelas suas dimensões ser facilmente introduzível em órgãos delgados, o par termoelétrico pode ser associado com registradores dando leituras contínuas.

Em trabalhos de laboratório deve-se tomar o cuidado de abaixar a temperatura gradualmente, pois uma queda brusca poderia provocar uma falsa interpretação dos resultados, de vez que, congelamentos rápidos aumentam os danos, principalmente naquelas plantas cujas temperaturas letal e de congelação são muito distanciadas entre si (LEVITT, 1956). Uma maneira prática de se obter este abaixamento gradual consiste em se colocar as plantas dentro de caixas com paredes de má

condutibilidade térmica, tais como caixas isoladas com asbestos (LUCAS, 1954) ou garrafas térmicas (STAUFFER, 1957) e assim protegidas levá-las para os congeladores.

Os aspectos meteorológicos a respeito das geadas são relativamente bem estudados. O trabalho de D'UTRA (1919) e o de MATTOS (1927), no Brasil, e os de SCHOONOVER, HODGSON & YOUNG (1930), SCHOONOVER, BROOKS & WALKER (1939), BROOKS (1960), BLANC et al (1963), entre outros, abordam com profundidade o problema.

3. MATERIAL E MÉTODO

Como já vimos na introdução, este trabalho foi realizado em duas etapas, a primeira delas constando de ensaios feitos durante a ocorrência de duas geadas em Campos do Jordão e a segunda etapa em laboratórios da E.S.A. "Luiz de Queiroz", em Piracicaba. Para facilidade de exposição elas serão descritas separadamente.

3.1. Ensaios em condições naturais de geada

Estes ensaios tiveram por objetivo o estudo da proteção oferecida por abrigos durante a noite e o efeito dos raios solares ao amanhecer. Foram realizados na Fazenda da Guarda do Hôrto Florestal do Estado, em Campos do Jordão, durante os períodos 19-20 e 20-21 de julho de 1967. A área utilizada constava de 3 terraços planos de aproximadamente

3 x 30 metros, com um desnível entre o primeiro e o segundo de 50 cm e entre o segundo e o terceiro de 80 cm. A área estava toda gramada e se apresentava livre de árvores ou construções.

Utilizamos nestes ensaios mudas de cafeeiro da variedade Mundo-novo, com dois anos de idade e plantadas em sacos de polietileno. As mudas foram cedidas pelo Instituto Agrônomo de Campinas, e salvo uma ou outra fôlha atacada por bicho mineiro (Perileuoptera coffeella Guérin-Mineville) estavam em bom estado de sanidade. Não apresentavam, também, nenhum sintoma de deficiência nutricional. Foram aclimatadas a condições de pleno sol antes do experimento. Diariamente, as plantas eram molhadas pela manhã. As que não iam ser testadas eram recolhidas para um galpão ao entardecer.

Foram construídos 3 abrigos rústicos de madeira, como está representado na figura nº 1. Estes abrigos protegiam as plantas da irradiação noturna para o firmamento e da ação direta dos raios solares ao amanhecer. Durante a noite, os abrigos tinham apenas o teto, mas pela manhã eram fechados lateralmente para evitar a entrada dos raios solares.

As temperaturas mínimas em cada tratamento foram medidas com termômetros de mínima da marca Fuess, do tipo usado em Meteorologia e graduados com divisões de $0,2^{\circ}\text{C}$. Os dados de temperatura estão nos quadros 1 e 2.

Um higrógrafo registrou a umidade relativa durante o experimento. Os gráficos das figuras 2 e 3, copiados do papel registrador, mostram que a umidade relativa se manteve, durante a noite, ao redor de 100%.

Como sabíamos que as diferenças de altitude entre os 3 níveis provavelmente condicionariam temperaturas desiguais, resolvemos instalar um bloco experimental em cada nível.

Em cada bloco as plantas eram submetidas aos seguintes tratamentos:

1. Plantas cobertas durante todo o experimento.
2. Plantas descobertas durante todo o experimento.
3. Plantas cobertas à noite e recebendo sol pela manhã.
4. Plantas descobertas à noite e não recebendo sol pela manhã.

O experimento foi iniciado às 17 horas, quando as plantas dos tratamentos 1 e 3 foram colocadas no interior dos abrigos ao passo que as dos tratamentos 2 e 4 foram colocadas bem próximas, mas do lado de fora. Ficaram toda a noite nestas posições. Quando o sol iniciava o seu aparecimento, as plantas dos tratamentos 3 e 4 foram trocadas de lugar. Desta forma as plantas dos tratamentos 1 e 4 não foram atingidas pelo sol, ao passo que as dos tratamentos 2 e 3 sim.

Como se pode ver nos quadros 1 e 2, as tempera

turas mínimas na geada do primeiro período foram mais baixas, mas em ambas a temperatura caiu bastante. Foram geadas de irradiação, do tipo branca, e a deposição de orvalho nas folhas se iniciou ao redor das 22 horas. Ao redor das 24 horas já havia cristais de gelo sobre as folhas. As figuras 4 e 5, tiradas respectivamente às 22 horas e 4 horas da manhã ilustram estas observações.

Quadro nº 1 - Temperaturas mínimas horárias em graus centígrados na noite de 19 de julho.

Horas	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3	
	Coberta	Descob.	Coberta	Descob.	Coberta	Descob.
21	-2,0	-2,2	-2,0	-2,4	-2,4	-2,6
22	-2,8	-3,2	-2,8	-3,0	-2,8	-3,2
23	-3,2	-3,8	-3,0	-3,8	-3,2	-3,8
24	-3,2	-4,0	-3,4	-4,2	-3,4	-4,0
1	-3,8	-4,6	-3,8	-4,6	-4,2	-4,6
2	-4,0	-5,0	-4,0	-5,2	-4,4	-5,4
3	-4,2	-5,2	-4,4	-5,8	-4,6	-6,0
4	-4,6	-5,8	-4,8	-6,2	-5,0	-6,6
5	-5,0	-6,2	-5,2	-6,4	-5,2	-6,8
6	-5,2	-6,2	-5,2	-6,4	-5,2	-7,0

Quadro nº 2 - Temperaturas mínimas horárias em graus centígrados na noite de 20 de julho.

Horas	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3	
	Coberta	Descob.	Coberta	Descob.	Coberta	Descob.
21	+0,8	-0,2	+1,4	-1,0	0,0	-0,6
22	+0,0	-0,8	+0,8	-1,2	-0,6	-1,2
23	-0,4	-1,0	-0,4	-2,0	-1,0	-2,0
24	-1,0	-2,0	-1,2	-2,6	-1,4	-2,2
1	-1,4	-2,2	-1,4	-2,8	-1,4	-2,4
2	-1,6	-2,4	-1,4	-3,0	-2,0	-3,2
3	-1,8	-2,6	-1,6	-3,0	-2,4	-3,4
4	-1,8	-2,8	-1,6	-3,2	-2,8	-3,6
5	-2,0	-2,8	-2,0	-3,2	-3,0	-3,8
6	-2,2	-2,8	-2,2	-3,4	-3,2	-4,0

3.2. Ensaio em laboratório

Nestes experimentos utilizamos plantas pertencentes ao mesmo lote daquelas utilizadas na parte de campo, a única diferença de tratamento consistindo em que eram molhadas à tarde e não pela manhã. No ensaio 3.2.3. foram utilizadas plantas da mesma variedade mas com apenas um ano de idade. Estas eram menores, o que permitia o uso de uma maior quantidade de plantas em cada repetição. As mudas foram também cedidas pela Seção de Café do Instituto Agronômico de Campinas.

Os ensaios foram realizados em um congelador horizontal de marca "Frigidaire", modelo 14, regulado para uma temperatura mínima de -12°C . Este congelador tem um volume interno suficiente para conter uma caixa de 64 x 30 x 44 cm, construída com chapas de "Duratex" de 4 mm de espessura e revestidas internamente com uma camada de isopor de 2 cm de espessura. Uma bolsa construída com polietileno revestia internamente a caixa, que era fechada por uma tampa construída com os mesmos materiais. Este conjunto de congelador e caixa com revestimento de isopor assegurava um abaixamento horário de temperatura de aproximadamente $3,5^{\circ}\text{C}$ a partir de 5°C e nunca superior a 5°C nas fases iniciais. O congelador era ligado apenas no início do experimento e o interior da caixa era pulverizado com água destilada para garantir um meio úmido

para as plantas, característico das geadas brancas.

As medições de temperatura eram feitas com pares termoelétricos de cobre-constantan e registradas por um aparelho "Honeywell", tipo "Electronic 15" de 12 canais. Este aparelho tem compensação automática, sua escala de temperatura vai de -10°C a $+50^{\circ}\text{C}$ e gasta 15 segundos entre duas leituras. Como são 12 os canais, o aparelho gasta 3 minutos para repetir a temperatura de cada canal. Nos ensaios 3.2.1 e 3.2.2, em que nos interessava leituras com intervalos menores, fizemos ligações em série, de maneira que um mesmo par termoelétrico tinha a sua temperatura lida em diferentes canais, o que diminuía o intervalo de tempo entre as leituras. Um ensaio preliminar realizado com uma mistura água destilada-gêlo mostrou que os pares estavam todos calibrados.

Os pares eram introduzidos no mesofilo foliar aproveitando-se da ocorrência de domácias, e os fios eram presos com fita adesiva na base da fôlha, como se pode ver bem na figura nº 6. Esta operação era realizada fora da caixa, e então a planta era cuidadosamente colocada em seu interior. A caixa era fechada com a tampa de isopor, que sendo ligeiramente plástica se moldava bem às paredes e ao mesmo tempo permitia a saída do fio do par termoelétrico.

Apenas depois de feitas as ligações na fôlha é que o congelador era ligado. Os ensaios feitos com esta apa

relhagem foram:

3.2.1. Determinação da temperatura de congelação da
fôlha e do valor do sub-resfriamento.

Trabalhamos com uma planta de cada vez. As temperaturas eram determinadas em duas fôlhas da parte média, onde se apresentavam suficientemente espessas para permitir a introdução do par termoeletrico, aproveitando-se as domácias para facilitar essa introdução. Os canais foram ligados em série, de maneira que a temperatura de uma fôlha era dada pelos pontos 1, 3, 5, 7, 9 e 11 e a temperatura da outra pelos canais 2, 4, 6, 8, 10 e 12. As fôlhas tinham assim suas temperaturas lidas cada 30 segundos. Foram feitas determinações em cinco plantas diferentes, tendo-se tomado o cuidado de expor as plantas ao sol no dia anterior, para que a sua resistência ao frio não se alterasse.

3.2.2. Determinação da temperatura letal e dos efeitos da duração do período de tempo em que a planta permanecia nesta temperatura.

Trabalháramos com uma planta de cada vez, mas como verificamos pelos ensaios anteriores que as diferentes fôlhas de cada planta tinham temperaturas muito semelhantes, medíamos a temperatura de 6 fôlhas de cada vez. Os canais li

gados em série foram: 1 e 7, 2 e 8, 3 e 9, 4 e 10, 5 e 11 e 6 e 12. Cada fôlha tinha assim sua temperatura medida cada 90 segundos.

Como esperávamos que a temperatura letal seria próxima à temperatura de congelação e como pela revisão bibliográfica sabíamos que os danos só ocorrem se houver a formação de gelo nos tecidos, resolvemos testar 3 tipos de tratamento, a saber:

1. Plantas retiradas da caixa resfriada ao se iniciar a congelação, fato constatado pelo aumento na temperatura lida nas fôlhas.

2. Plantas retiradas da caixa 15 a 18 minutos após o início da congelação.

3. Plantas retiradas da caixa apenas quando a congelação das fôlhas já se tinha completado, o que se verificava pelo reinício da queda da temperatura das fôlhas.

De cada tratamento foram feitas 4 repetições.

O fato de termos tomado como duração do tratamento 2 um intervalo de 15 a 18 minutos e não um tempo fixo deve-se ao fato de que as diferentes fôlhas não tinham temperaturas exatamente iguais, iniciando-se a congelação nelas com diferenças de aproximadamente 3 minutos entre as primeiras e as últimas. Como o tempo de 15 minutos era medido após o início da congelação na última fôlha aquelas onde a congelação se

iniciou primeiro permaneciam 18 minutos. Por outro lado, foi escolhido este tempo de cerca de 15 minutos porque a congelação da folha se completava em cerca de 30 a 35 minutos.

3.2.3. O efeito da rapidez do descongelamento

Neste ensaio utilizamos, como já foi dito, plantas menores, com 1 ano de idade. Trabalhamos com dez plantas de cada vez, cada uma delas tendo a sua temperatura controlada por um par termoeletrico introduzido em uma folha. Neste ensaio, graças aos pares termoeletricos instalados em cada planta, esperávamos que se completasse a congelação em todas elas, o que nunca variou mais do que 5 minutos. Cinco plantas eram então retiradas e expostas ao sol, ao passo que outro lote de cinco plantas era deixado no interior da caixa isolante, mas com o congelador desligado e com sua tampa aberta. O descongelamento das primeiras era rápido, ao passo que as no interior da caixa descongelavam muito lentamente.

Foram feitas 3 repetições de cada tratamento.

4. RESULTADOS

Para maior facilidade de exposição, os dados obtidos serão apresentados na mesma sequência observada durante a realização dos experimentos.

4.1. Efeito da radiação solar e da cobertura durante a noite.

Para a avaliação dos efeitos da geada nas folhas dos cafeeiros submetidos aos tratamentos já citados utilizamos o seguinte critério:

- a) não danificadas: folhas intactas, sem nenhuma área necrosada.
- b) parcialmente danificadas: áreas mortas até no máximo 50% da área total da folha.
- c) muito danificadas: áreas mortas superiores a 50% da área total da folha.

A figura nº 7, fotografia tirada 24 horas após o início do experimento mostra bem a diferença entre fôlhas muito danificadas e não danificadas, podendo-se ver que as contagens podem se fazer com bastante facilidade. Saliente-se também que foram muito poucas as fôlhas em que as áreas necrosadas estavam ao redor de 50%. A grande maioria estava ou completamente morta ou com apenas os bordos necrosados. A figura nº 8 mostra uma das fôlhas muito danificadas da fotografia anterior vista contra a luz.

Os dados obtidos utilizando-se o critério acima estão reunidos em quadros. Os de nºs 3, 4, 5 e 6 referem-se ao período de 19 para 20 de julho e os dos quadros 7, 8, 9 e 10 referem-se ao período de 20 para 21 de julho.

Os dados referentes ao primeiro período foram tão uniformes que inclusive impedem o emprêgo de análise estatística, de vez que não houve variação. Para as temperaturas obtidas neste período os dados mostram que:

1ª) morreram tôdas as fôlhas que sofreram a geada, quer tomassem ou não sol ao amanhecer.

2ª) a cobertura noturna não conseguiu proteger as mudas nas condições prevalecentes neste período, isto é, temperaturas tão baixas que mesmo as plantas abrigadas estiveram submetidas à temperatura de $-5,2^{\circ}\text{C}$.

Em relação ao período de 20 a 21 os dados mostra

ram que:

1º) as plantas do bloco 3, mais frio (ver quadro 1), tiveram tôdas as fôlhas mortas, em todos os tratamentos.

2º) em todos os blocos morreram tôdas as fôlhas das plantas descobertas durante a noite (tratamentos 2 e 4), quer recebessem ou não insolação pela manhã.

3º) nos blocos 1 e 2, menos frios, a cobertura noturna restringiu as perdas de calor por irradiação das fôlhas, reduzindo os danos que atingiram as seguintes porcentagens:

Bloco	Tratamento	Fôlhas muito danificadas
1	1 - cobertas, não insoladas	77,2%
1	3 - " insoladas	78,4%
2	1 - " , não insoladas	77,9%
2	3 - " , insoladas	79,4%

Frente ao exposto e na impossibilidade de aplicação de uma análise de variância, para os dados deste período, procedemos como se segue:

A - Os dados do bloco nº 1 foram comparados pelo teste t para verificar se havia alguma diferença significativa para os tratamentos 1 e 3.

As médias percentuais foram transformados em arco seno $\sqrt{\%}$ para se aproximarem de uma distribuição normal e a seguir comparadas pelo teste t. O valor encontrado para t foi de -0,21 o que demonstra que os tratamentos não diferem

estatisticamente entre si.

B - No bloco nº 2, os dados dos tratamentos 1 e 3 também foram confrontados pelo teste t para verificar se o fato de tomarem sol pela manhã (tratamento 3) ou permanecerem abrigados (tratamento 1) tinha algum efeito. Também neste caso foi utilizada a transformação acima indicada, para aplicação do teste t. O valor encontrado, $t = 0,45$ é não significativo, demonstrando pois que os tratamentos não diferem estatisticamente entre si.

Pelos resultados obtidos, verifica-se que:

a) a menor queda de temperatura no interior do abrigo (ver quadro 1), permitiu uma pequena redução nos danos.

b) foram idênticamente danificadas as plantas que sofreram descongelamento rápido, devido ao aquecimento das folhas pelos raios solares, como as que sofreram descongelamento lento por estarem abrigadas da insolação matinal.

Quadro nº 3 - Danos causados às fôlhas de plantas que permaneceram cobertas durante todo o experimento. (Período de 19 para 20).

	Nº Fôlhas	Não danificadas	Parcialmente danificadas	Muito danificadas
BLOCO Nº 1	32	0	0	32
	22	0	0	22
	14	0	0	14
	20	0	0	20
	12	0	0	12
	18	0	0	18
	17	0	0	17
	12	0	0	12
	17	0	0	17
	15	0	0	15
Totais	179	0	0	179
BLOCO Nº 2	16	0	0	16
	20	0	0	20
	18	0	0	18
	20	0	0	20
	20	0	0	20
	26	0	0	26
	16	0	0	16
	18	0	0	18
	20	0	0	20
	22	0	0	22
Totais	196	0	0	196
BLOCO Nº 3	24	0	0	24
	24	0	0	24
	18	0	0	18
	20	0	0	20
	22	0	0	22
	16	0	0	16
	26	0	0	26
	24	0	0	24
	20	0	0	20
	14	0	0	14
Totais	208	0	0	208

Quadro nº 4 - Danos causados às fôlhas de plantas que permaneceram descobertas durante todo o experimento. (Período de 19 para 20).

	Nº Fôlhas	Não danificadas	Parcialmente danificadas	Muito danificadas
BLOCO Nº 1	32	0	0	32
	22	0	0	22
	14	0	0	14
	20	0	0	20
	14	0	0	14
	16	0	0	16
	17	0	0	17
	12	0	0	12
	17	0	0	17
	15	0	0	15
Totais	179	0	0	179
BLOCO Nº 2	24	0	0	24
	20	0	0	20
	22	0	0	22
	16	0	0	16
	18	0	0	18
	17	0	0	17
	17	0	0	17
	20	0	0	20
	22	0	0	22
	16	0	0	16
Totais	192	0	0	192
BLOCO Nº 3	17	0	0	17
	17	0	0	17
	20	0	0	20
	22	0	0	22
	26	0	0	26
	18	0	0	18
	16	0	0	16
	28	0	0	28
	20	0	0	20
	16	0	0	16
Totais	200	0	0	200

Quadro nº 5 - Danos causados às fôlhas de plantas cobertas durante a noite e que tomaram sol pela manhã, (Período de 19 para 20).

	Nº Fôlhas	Não danificadas	Parcialmente danificadas	Muito danificadas
BLOCO Nº 1	21	0	0	21
	14	0	0	14
	18	0	0	18
	18	0	0	18
	32	0	0	32
	17	0	0	17
	16	0	0	16
	12	0	0	12
	20	0	0	20
	22	0	0	22
Totais	190	0	0	190
BLOCO Nº 2	18	0	0	18
	16	0	0	16
	17	0	0	17
	18	0	0	18
	24	0	0	24
	16	0	0	16
	20	0	0	20
	22	0	0	22
	24	0	0	24
	20	0	0	20
Totais	195	0	0	195
BLOCO Nº 3	20	0	0	20
	22	0	0	22
	24	0	0	24
	28	0	0	28
	28	0	0	28
	16	0	0	16
	16	0	0	16
	14	0	0	14
	12	0	0	12
	18	0	0	18
Totais	198	0	0	198

Quadro nº 6 - Danos causados às fôlhas de plantas descobertas à noite e que não tomaram sol pela manhã. (Período de 19 para 20).

	Nº Fôlhas	Não danificadas	Parcialmente danificadas	Muito danificadas
BLOCO Nº 1	21	0	0	21
	19	0	0	19
	12	0	0	12
	16	0	0	16
	22	0	0	22
	20	0	0	20
	20	0	0	20
	14	0	0	14
	25	0	0	25
	18	0	0	18
Totais	187	0	0	187
BLOCO Nº 2	16	0	0	16
	18	0	0	18
	14	0	0	14
	24	0	0	24
	18	0	0	18
	20	0	0	20
	20	0	0	20
	16	0	0	16
	22	0	0	22
	24	0	0	24
Totais	192	0	0	192
BLOCO Nº 3	16	0	0	16
	16	0	0	16
	23	0	0	23
	20	0	0	20
	20	0	0	20
	17	0	0	17
	18	0	0	18
	22	0	0	22
	24	0	0	24
	18	0	0	18
Totais	194	0	0	194

Quadro nº 7 - Danos causados às fôlhas de plantas cobertas durante todo o experimento. (Período de 20 para 21).

	Nº Fôlhas	Não danificadas	Parcialmente danificadas	Muito danificadas
BLOCO Nº 1	19	0	2	17
	30	4	4	22
	19	8	3	8
	29	3	4	22
	27	0	3	24
	16	2	3	11
	16	0	2	14
	12	2	4	6
	13	0	0	13
	12	0	0	12
	Totais	193	19	25
BLOCO Nº 2	28	3	6	19
	20	0	2	18
	15	4	5	6
	20	1	1	18
	16	0	3	13
	22	0	1	21
	25	0	0	25
	21	3	5	13
	14	1	6	7
	32	3	3	26
Totais	213	15	32	166
BLOCO Nº 3	16	0	0	16
	17	0	0	17
	40	0	0	40
	17	0	0	17
	15	0	0	15
	16	0	0	16
	20	0	0	20
	18	0	0	18
	16	0	0	16
	22	0	0	22
Totais	197	0	0	197

Quadro nº 8 - Danos causados às fôlhas de plantas descobertas durante todo o experimento. (Período de 20 para 21).

	Nº Fôlhas	Não danificadas	Parcialmente danificadas	Muito danificadas
BLOCO Nº 1	20	0	0	20
	22	0	0	22
	24	0	0	24
	19	0	0	19
	18	0	0	18
	22	0	0	22
	24	0	0	24
	25	0	0	25
	13	0	0	13
	26	0	0	26
Totais	213	0	0	213
BLOCO Nº 2	17	0	0	17
	37	0	0	37
	26	0	0	26
	19	0	0	19
	18	0	0	18
	20	0	0	20
	16	0	0	16
	24	0	0	24
	15	0	0	15
	21	0	0	21
Totais	213	0	0	213
BLOCO Nº 3	25	0	0	25
	25	0	0	25
	20	0	0	20
	26	0	0	26
	20	0	0	20
	17	0	0	17
	21	0	0	21
	20	0	0	20
	17	0	0	17
	20	0	0	20
Totais	211	0	0	211

Quadro nº 9 - Danos causados às folhas de plantas cobertas à noite e recebendo sol pela manhã. (Período de 20 para 21).

	Nº Folhas	Não danificadas	Parcialmente danificadas	Muito danificadas
BLOCO Nº 1	16	0	0	16
	15	2	8	5
	14	1	3	10
	20	0	2	18
	20	3	4	13
	14	0	2	12
	13	0	0	13
	20	0	0	20
	17	2	6	9
	18	0	3	15
Totais	167	8	28	131
BLOCO Nº 2	16	0	3	13
	30	0	4	26
	21	5	5	11
	21	1	4	16
	27	1	4	22
	19	2	3	14
	16	2	2	12
	18	0	2	16
	16	0	0	16
	20	0	4	16
Totais	204	11	31	162
BLOCO Nº 3	20	0	0	20
	21	0	0	21
	22	0	0	22
	14	0	0	14
	22	0	0	22
	16	0	0	16
	28	0	0	28
	18	0	0	18
	14	0	0	14
	16	0	0	16
Totais	191	0	0	191

Quadro nº 10 - Danos causados às fôlhas de plantas descobertas à noite e não recebendo sol pe la manhã. (Período de 20 para 21).

	Nº Fôlhas	Não danificadas	Parcialmente danificadas	Muito danificadas
BLOCO Nº 1	18	0	0	18
	17	0	0	17
	18	0	0	18
	24	0	0	24
	14	0	0	14
	33	0	0	33
	24	0	0	24
	27	0	0	27
	15	0	0	15
	19	0	0	19
Totais	209	0	0	209
BLOCO Nº 2	18	0	0	18
	22	0	0	22
	17	0	0	17
	20	0	0	20
	20	0	0	20
	18	0	0	18
	25	0	0	25
	15	0	0	15
	26	0	0	26
	17	0	0	17
Totais	188	0	0	188
BLOCO Nº 3	18	0	0	18
	29	0	0	29
	15	0	0	15
	14	0	0	14
	16	0	0	16
	19	0	0	19
	25	0	0	25
	10	0	0	10
	13	0	0	13
	16	0	0	16
Totais	175	0	0	175

4.2. Determinação da temperatura de congelação da fôlha e do valor do sub-resfriamento.

Os dados obtidos para as temperaturas de sub-resfriamento e de congelação estão no quadro nº 11.

Quadro nº 11 - Valores da temperatura de sub-resfriamento e da temperatura de congelação.

Fôlha	Temperatura de Sub-resfriamento	Temperatura de Congelação
1	-4,9	-3,4
2	-4,9	-3,4
3	-5,0	-3,5
4	-4,9	-3,5
5	-4,9	-3,4
6	-4,9	-3,5
7	-5,0	-3,4
8	-4,8	-3,4
9	-5,0	-3,5
10	-5,0	-3,5

A temperatura média encontrada para a temperatura de sub-resfriamento foi de $-4,93^{\circ}\text{C}$ e a temperatura média de congelação dos tecidos da fôlha foi de $-3,45^{\circ}\text{C}$.

A figura 9 mostra com dados reais a sequência final de uma determinação, podendo-se notar a temperatura mínima do sub-resfriamento (a), a temperatura de congelação da fôlha (o ponto mais alto entre b e c), e o fim do período de

congelamento da fôlha (c).

4.3. Determinação da temperatura letal e dos efeitos da duração do período de tempo em que a planta permanecia nesta temperatura.

O critério adotado para a descrição dos danos causados às fôlhas pela duração do tempo em que as mesmas permaneciam após iniciada a congelamento foi o de considerar uma escala de 0 a 10, onde zero correspondia a uma fôlha sem nenhuma área necrosada e 10 a uma fôlha totalmente necrosada. Para que não houvesse variação na nossa interpretação fotografamos quatro fôlhas típicas, com danos da ordem de 2, 4, 6 e 8. Cada fôlha era comparada com estes padrões. A figura 10 representa uma fôlha com danos da ordem de 5.

Os dados obtidos estão reunidos no quadro 12.

Resumindo os dados encontrados:

1º) o tratamento 1 embora submetta as plantas à temperaturas inclusive mais baixas que a de congelamento causou apenas danos muito leves e em somente 3 fôlhas.

2º) os tratamentos 2 e 3 em que as plantas permanecem cerca de 15 minutos e 30 minutos respectivamente após o início da congelamento, mostram que a temperatura letal e de congelamento são praticamente iguais, e que os danos são da ordem de 4,5 no primeiro tratamento e de 9,9 no segundo. Os

dados mostram também que os danos só são produzidos com a congelação dos tecidos da fôlha.

4.4. O efeito da rapidez do descongelamento.

Os dados encontrados estão no quadro nº 13. Como se pode ver, morreram tôdas as plantas, não importando a rapidez do descongelamento.

Quadro nº 12 - Danos produzidos nas folhas de plantas retiradas do congelador ao se iniciar a congelação, 15 minutos após o início dessa congelação e só após o seu término.

TRATAMENTO 1			TRATAMENTO 2			TRATAMENTO 3		
Planta	Fôlha	Danos	Planta	Fôlha	Danos	Planta	Fôlha	Danos
1	1	0	1	1	3	1	1	10
	2	0		2	5		2	10
	3	0		3	4		3	10
	4	0		4	4		4	9
	5	1		5	6		5	10
	6	0		6	6		6	10
2	1	1	2	1	4	2	1	10
	2	0		2	4		2	10
	3	1		3	4		3	10
	4	0		4	6		4	10
	5	0		5	5		5	10
	6	0		6	4		6	10
3	1	0	3	1	5	3	1	10
	2	0		2	5		2	10
	3	0		3	3		3	9
	4	0		4	5		4	10
	5	0		5	4		5	10
	6	0		6	4		6	10
4	1	0	4	1	3	4	1	10
	2	0		2	7		2	10
	3	0		3	5		3	10
	4	0		4	5		4	10
	5	0		5	4		5	10
	6	0		6	4		6	10

Quadro nº 13 - Efeito de um descongelamento rápido, ao sol, e de um descongelamento lento, no interior da caixa térmica.

Descongelamento rápido				Descongelamento lento		
	Planta	Fôlhas mortas	Fôlhas vivas	Planta	Fôlhas mortas	Fôlhas vivas
Repetição 1	1	18	0	6	14	0
	2	18	0	7	16	0
	3	16	0	8	18	0
	4	15	0	9	17	0
	5	15	0	10	15	0
Repetição 2	1	16	0	6	15	0
	2	15	0	7	16	0
	3	16	0	8	18	0
	4	15	0	9	15	0
	5	14	0	10	16	0
Repetição 3	1	16	0	6	15	0
	2	16	0	7	14	0
	3	16	0	8	18	0
	4	18	0	9	18	0
	5	17	0	10	13	0

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados serão discutidos na ordem em que foram apresentados os dados.

5.1. O efeito da radiação solar e da cobertura noturna.

a) Em relação à radiação solar os dados obtidos mostram que não houve variação entre os tratamentos 1, no qual as plantas se descongelavam nos abrigos e o tratamento 3, em que as plantas se descongelavam expostas ao sol. Tanto nos blocos 1 e 2, onde na segunda geada houve uma pequena quantidade de folhas que não foram danificadas ou o foram parcialmente, como no bloco 3, na segunda geada, e nos blocos 1, 2 e 3 na geada do 1º dia, quando todas as folhas foram totalmente danificadas, verifica-se não haver nenhuma influência das condições do descongelamento. Estes dados concordam com os obtidos em

cafeeiro por CAMARGO & SALATI (1966) e contradizem a grande maioria dos autôres já citados na revisão bibliográfica. Consideramos que as conclusões favoráveis ao efeito nocivo do sol nas geadas têm as seguintes explicações gerais:

1) generalizações baseadas em observações com outras plantas: como bem aponta LEVITT (1956), a rapidez do descongelamento é fator importante como causador de danos para as plantas, mas apenas naquelas plantas cujas temperatura letal e temperatura de congelação estejam distanciadas. Não conhecendo este fato, muitos dos nossos autôres citam exemplos de plantas européias para mostrar a importância da rapidez do descongelamento, como por exemplo D'UTRA (1919). Já os autôres que citam dados obtidos com plantas de temperaturas letais e de congelação próximas, como aqueles obtidos com laranjeiras da Flórida, não dão ao degelo rápido provocado pela radiação solar importância maior, como é o caso de PAZZANEZE (1950).

2) condições climáticas necessárias para a ocorrência de geada: as geadas perigosas e mais comuns nas regiões cafeeiras são as de irradiação, com ou não formação de depósitos externos de gelo, dependendo das condições de umidade do ar. Em qualquer dos dois casos, numa geada de irradiação a queda de temperatura é provocada pela perda de calor do solo e das plantas (SCHOONOVER, HODGSON & YOUNG, 1930; SCHOONOVER, ... BROOKS & WALKER, 1939; BROOKS, 1960; BLANC & outros, 1963).

Para que esta perda seja acentuada, uma das condições essenciais é que o céu se apresente e se mantenha "transparente", isto é, sem nuvens, pois estas refletiriam a irradiação térmica e a temperatura não cairia tanto. Ao mesmo tempo, lembre-se que quando há nuvens o sol não aparece. Por outro lado, a formação de gelo sobre as folhas, que por si só não produz danos, pode se dar a -1°C , a -2°C , a -3°C , a -4°C , etc. O observador menos avisado, ao comparar os efeitos de uma geada em que ocorreram danos com outra em que estes não aconteceram, nem sempre tem termômetros durante a noite para medir as temperaturas mínimas, mas sempre pode observar se aparece ou não o sol ao amanhecer. Atribuirá então os danos aos raios solares, quando na verdade estes ocorreram porque a temperatura noturna caiu mais na noite de céu descoberto, atingindo a -3°C ou a -4°C , temperaturas onde, via de regra, se produzem os danos.

3) cafeeiros sombreados; frequentemente há citações (FERREIRA, 1953) de que os cafeeiros cultivados sob outras árvores escapam de sofrer danos decorrentes das geadas por não serem atingidos pelos raios solares. Na verdade aqui temos apenas o papel de cobertura desempenhado pelas copas das árvores durante a noite, que refletem as radiações de calor emitidas pelo solo ou pelas próprias folhas do cafeeiro. Como consequência, a temperatura sob as árvores é mais alta e sufi

cientemente mais alta para impedir a morte do cafeeiro.

Que CAMARGO & SALATI (1966) estão com a razão é confirmado ainda pelo nosso tratamento 4. Morreram tôdas as fôlhas das 120 plantas que ficaram ao relento durante a noite, quer tomassem ou não sol pela manhã.

Finalmente, ressalte-se que nem neste como em nenhum dos trabalhos feitos com cafeeiros se obteve a temperatura letal da fôlha de cafeeiro. O que existe são diversos trabalhos onde se obtém a temperatura ambiente em que as fôlhas de cafeeiro morriam. SANTOS, SALATI & ACCORSI (1958) fizeram determinações de temperatura da fôlha em uma noite com geada de irradiação. Mas não se preocuparam em relacionar estas medições com a temperatura letal ou mesmo temperatura de congelamento, pois o objetivo dêles era determinar as variações entre as temperaturas da fôlha e do ar.

b) A cobertura proporcionada pelo abrigo fêz com que a temperatura em seu interior durante a noite fôsse de até $1,8^{\circ}\text{C}$ maior do que no exterior. Esta menor queda de temperatura fêz com que as plantas abrigadas nos blocos 1 e 2 estivessem sujeitas a temperaturas que não caíram abaixo de $-2,2^{\circ}\text{C}$. Segundo CAMARGO & SALATI (1957), tais plantas não deveriam sofrer mais do que danos ligeiros, de vez que êstes autores só observaram danos graves e generalizados quando a temperatura lida no termômetro de mínima desabrigado, junto às

fôlhas, caiu a -3°C . Além disso, pode-se verificar que as diferentes plantas tiveram uma variação acentuada no número de fôlhas atingidas. Vejamos êstes fatos por partes:

1) ocorrência de danos pronunciados a temperaturas não inferiores a $-2,2^{\circ}\text{C}$. Sabe-se, já há muito tempo, que as plantas não tem sempre a mesma resistênciã ao frio, mas sim - que esta resistênciã varia durante o ano. Em função de uma série de fatôres ambientais tais como estar submetida anteriormente a temperaturas baixas, ter luz suficiente para a realização de fotossíntese alta, ter nutrição mineral rica em P e K, mas pobre em N, e estar em solo com pouca umidade as plantas aumentam a sua resistênciã (LEVITT, 1967). Com cafeeiro há, inclusive, bom trabalho de THEODURETO DE CAMARGO (1921), demonstrando que havia maior resistênciã em cafeeiros com maior teor de açúcares. Êste aumento de resistênciã pode ser bêm elevado, como o exemplo citado por PARKER (1963), de plantas que no verão morriam a -10°C e suportavam temperaturas de -30°C no inverno. Embora com plantas tropicais o "endurecimento" não atinja tais variações, sem dúvida pode atingir os $0,8^{\circ}\text{C}$ que é o que falta para que nossos dados concordem com os de CAMARGO & SALATI (1967).

Além disso, recorde-se que no citado trabalho, os termômetros se encontravam junto à fôlha observada, ao passo que neste os termômetros estão junto às mudas.

Saliente-se também que termômetros de mínima de sabrigados não dão leituras perfeitas (SANTOS, 1960).

2) variação entre as plantas no número de fôlhas atingidas. Neste caso várias são as causas possíveis desta variação. Inicialmente lembremo-nos que as fôlhas perdem calor por condução, convecção e principalmente por irradiação, como mostram bem SCHOONOVER, HODGSON & YOUNG (1930), SCHOONOVER, BROOKS & WALKER (1939), BROOKS (1960), BLANC e outros (1963). Assim sendo, as diferentes fôlhas perderão diferentes quantidades de calor segundo tenham disposição horizontal ou inclinada, estejam expostas ao céu aberto ou sob outras fôlhas, estejam mais próximas do solo ou não, tenham espessura maior ou menor; por essa série de fatores encontra-se que mesmo entre as fôlhas de uma mesma planta as temperaturas são diferentes. Se ampliarmos esta idéia e pensarmos que sob uma mesma cobertura temos plantas que ficaram nos bordos ou nos centros, com fôlhas mais ou menos expostas, com ramos diferentemente inclinados, as fôlhas destas diferentes plantas devem apresentar diferentes temperaturas. Para realçar este fato, citemos que apenas em função da posição interna ou externa em uma planta se encontrou para frutos de Citrus sp uma variação de até 1,5°C. (SCHOONOVER, 1939). Podemos, portanto, admitir que as diferenças de temperatura provocadas pela soma de todos os fatores citados acima explicam bem os nossos dados.

5.2. Determinação da temperatura de congelação da e do valor do sub-resfriamento.

Como vemos, a temperatura de congelação das folhas de cafeeiro variou muito pouco, sendo a temperatura média encontrada igual a $-3,45^{\circ}\text{C}$. Atribuimos esta pequena variação ao fato de trabalharmos com um lote homogêneo de mudas, submetidas às mesmas condições de nutrição, água e luz. A literatura assinala variações maiores para outras plantas (LEVITT, 1956), mas não há dados sobre cafeeiros para que se possa fazer uma comparação.

Em relação à temperatura de sub-resfriamento os valores variaram um pouco mais, o que está de acordo com LEVITT (1956). A temperatura de sub-resfriamento caiu até a -5°C e o maior valor do sub-resfriamento foi de $1,6^{\circ}\text{C}$. Estes dados estão perfeitamente dentro dos dados encontrados para a literatura, onde valores de até 10°C já têm sido encontrados para o sub-resfriamento (LUCAS, 1954). Entretanto, segundo CHANDLER (1954) o valor do sub-resfriamento raramente ultrapassa 2°C .

A vantagem do sub-resfriamento é enorme para as plantas, pois estas nada sofrem se não se der a congelação (PARKER, 1963). Por outro lado, em virtude do fato de que em geral não se mede a temperatura das plantas e sim da atmosfera, muitos dados contraditórios são encontrados, pois

a temperatura das folhas e do ambiente podem ter diferenças apreciáveis (SANTOS, SALATI & ACCORSI, 1958). Cabem, ainda, algumas comparações entre os dados obtidos em laboratório e no campo, que serão feitas no item 5.5.

5.3. Determinação da temperatura letal e dos efeitos da duração do período de tempo em que a planta permanecia nesta temperatura.

Analisando-se os dados obtidos nestes diversos tratamentos pôde-se verificar que:

1) os danos só aparecem com a congelação da folha, pois no primeiro tratamento as folhas se apresentam sem nenhum dano, não obstante a temperatura tivesse chegado a -5°C . Tais dados estão de pleno acôrdo com a literatura a respeito, como se pode ver bem na revisão sôbre o assunto feita por PARKER (1963) ou no livro de LEVITT (1956). Êste fato é confirmado pela estreita relação entre a extensão dos danos e a área da folha congelada. No tratamento 2, em que não houve tempo para que tôda a folha se congelasse, pode-se verificar que os danos causados não são totais. Já no tratamento 3, em que houve tempo para a congelação de tôda a folha, os danos são totais.

Verifica-se também, dos resultados acima, que a temperatura letal e a de congelação são muito próximas se não iguais para o cafeeiro. Êste fato não acontece com mui

tas plantas, que não obstante se congelem a poucos graus abaixo de zero podem suportar temperaturas muito baixas. Por exemplo, segundo PARKER (1963), as folhas de Pinus strobus podem suportar perfeitamente temperaturas de até -196°C no inverno.

A uniformidade dos danos produzidos pelos tratamentos 2 e 3 explica-se pelo fato de que as folhas no interior da caixa térmica estavam com temperaturas praticamente iguais. Em condições de campo tal fato com frequência não se dá, pois as diferentes folhas em razão de fatores que já foram discutidos terão temperaturas diferentes.

A formação de gelo em diversas regiões da folha também está de acordo com a literatura (LEVITT, 1956 ; - PARKER, 1963). Este fato faz com que a folha se apresente pintalgada, como se pode ver bem na figura 10. Com o tempo, não apenas se formam mais núcleos como também, em virtude da saída de água provocada pela diminuição da tensão do vapor de água nos espaços intercelulares, há o aumento dos cristais de gelo já formados. Deixando-se por um tempo suficiente as várias áreas necrosadas se unem, tomando toda a folha. Em nossos experimentos isto levava cerca de 30 a 35 minutos.

Finalmente, tomamos o cuidado de verificar se utilizando-se o critério já citado para se avaliar os danos não estaríamos sujeitos a uma margem grande de erros devido a

falhas de observação. Um aluno da "ESALQ" repetiu a contagem em duas repetições obtendo exatamente os mesmos resultados.

5.4. O efeito da rapidez do descongelamento

Assim como no ensaio 4.1 feito em condições naturais, não houve diferenças em virtude da rapidez do descongelamento provocado pelo sol. Tais resultados confirmam inteiramente as observações de LEVITT (1956), para quem a velocidade de descongelamento só é importante para as plantas cujas temperaturas de congelação e letal são distantes entre si.

Realce-se que neste ensaio tivemos o cuidado de provocar um descongelamento mais lento do que ocorre normalmente, mesmo em dias nublados, mas os danos foram tão grandes como aqueles das plantas descongeladas a pleno sol.

Os comentários a respeito das discordâncias entre estes dados e aqueles apresentados por outros autores que vêm na ação dos raios solares durante o descongelamento o mal maior já foram feitos em 5.1, razão pela qual não voltaremos a apresentá-los.

5.5. Ensaio de campo e de laboratório

A comparação dos dados de campo e de laboratório, mostra que:

1) Houve coincidência entre todos os tratamentos, quer de campo, quer de laboratório, no sentido de que a rapidez do descongelamento não influenciou nos danos provocados pela geada.

2) Segundo foi determinado em laboratório, a temperatura de sub-resfriamento variou de $-4,8^{\circ}\text{C}$ a -5°C . Os danos em condições de campo ocorreram a partir de temperaturas de $-2,2^{\circ}\text{C}$. A temperatura das folhas deveria estar portanto, .. $2,6^{\circ}\text{C}$ abaixo da temperatura ambiente para que se iniciasse o congelamento. Esta variação está perfeitamente de acordo com as citações bibliográficas (WAGGONER & SHAW, 1952; SANTOS, SALATI & ACCORSI, 1958). Saliente-se ainda, que o valor do sub-resfriamento em condições de campo é, via de regra, menor que o determinado em laboratório (CHANDLER, 1954).

6. CONCLUSÕES

1) A morte das fôlhas do cafeeiro ocorre durante a congelação.

2) A temperatura letal em cafeeiro é a mesma ou muito próxima da temperatura de congelação.

3) A temperatura de congelação das fôlhas de cafeeiro variou entre $-3,4^{\circ}\text{C}$ e $-3,5^{\circ}\text{C}$.

4) A temperatura de sub-resfriamento atingiu em laboratório a -5°C .

5) Em condições de geadas naturais observaram-se danos graves já à temperatura de até $-2,2^{\circ}\text{C}$, lidas em termômetros de mínima ao lado das mudas.

6) A velocidade do descongelamento não aumenta e nem diminui os danos.

7) Os raios solares durante o descongelamento

não aumentam nem diminuem os danos.

8) O efeito protetor da cobertura arbórea em cafeeiros sombreados deve-se à interceptação da energia calorífica irradiada pelo solo e pelos cafeeiros durante a noite e não à interceptação dos raios solares ao amanhecer.

9) A rejeição de terrenos voltados para o nascente para a instalação de cafezais, não se justifica como medida preventiva contra a geada.

10) O combate à geada pelo emprêgo de nebulizadores deve ser feito para impedir a queda de temperatura e não para evitar os raios solares.

7. RESUMO

O objetivo d'êste trabalho foi verificar se os danos produzidos pelas geadas nas fôlhas de cafeeiro ocorrem durante o congelamento, durante o descongelamento ou apenas nos casos em que o descongelamento é rápido, como o que se processa quando os raios solares aquecem as fôlhas. Determinações de temperatura de congelação, temperatura letal e temperatura de sub-resfriamento também foram feitas, bem como se havia relação entre o período de tempo em que as plantas permaneciam congeladas e os danos.

A investigação foi conduzida utilizando-se mudas de cafeeiro, da variedade Mundo-novo e com dois anos de idade. As comparações entre o descongelamento lento, à sombra, e o rápido, ao sol, foram feitas em Campos do Jordão, durante a ocorrência de geadas. A temperatura de congelação, a temperatura letal, a temperatura de sub-resfriamento, assim

como a verificação de se o período de tempo em que a planta - ficava congelada tinha relação com os danos foram avaliados - em laboratório. Utilizou-se um conjunto constituído por um congelador e uma caixa com paredes isolantes, que assegurava às plantas encerradas em seu interior um abaixamento gradual de temperatura.

Os dados obtidos mostraram que:

1ª) os danos ocorrem durante a congelação.

2ª) a temperatura letal e a de congelação são muito próximas se não iguais. Nas condições do experimento variaram entre $-3,4^{\circ}\text{C}$ e $-3,5^{\circ}\text{C}$.

3ª) uma vez congelada a fôlha, os danos já ocorrem, não influenciando a duração do descongelamento, os raios solares e o período em que a planta permanece congelada.

4ª) a temperatura de sub-resfriamento determinada em laboratório atingiu a -5°C .

8. SUMMARY

The objective of this study was to find out whether the damage produced by frost on the coffee leaves occur during freezing, during thawing or only in cases where thawing is rapid, as occurs when the sun heats the leaves. Determinations of freezing temperature, lethal temperature and undercooling temperature were also made, as well as relationship between the length of time the plants remained frozen and the damage.

The research was carried out using 2 years old coffee seedlings of the variety Mundo Novo. Comparisons between slow thawing under shade and quick thawing in the sun were made in Campos do Jordão during the occurrence of frost. Freezing temperature, lethal temperature, undercooling temperature, as well as verification as to whether the length of time the plant remained frozen had any relation to the damage.

ges were also evaluated in laboratory. Equipment used was a freezer and a box with insulating walls which allowed a gradual lowering of temperature with the plants inside.

The data obtained showed that:

- 1) damage occurs during freezing.
- 2) lethal temperature and freezing temperature are very close if not equal. Under experimental conditions they ranged between $-3,4^{\circ}\text{C}$ and $-3,5^{\circ}\text{C}$.
- 3) as soon as the leave is frozen the damage takes place without influence from the duration of freezing, the sun rays or the length of time in which the plant remains frozen.
- 4) the undercooling temperature, determined in laboratory, reached -5°C .

9. BIBLIOGRAFIA CITADA

- AMARAL, A.P. 1925 - Cultura prática e racional do cafeeiro - São Paulo, Cia. Graf.Ed.Monteiro Lobato, 1ª edição.
- BICUDO, L.P. 1956 - Café e geada - Boletim da Superintendência dos Serviços do Café, ano 31, nº 351:7-12.
- BLANC, M.L., GESLIN, H., HOLZBERG, I.A. & MASON, B. 1963 - Protection against frost damage - World Meteorological Organization, Technical note nº 51.
- BROOKS, F.A. 1960 - An introduction to physical microclimatology - Davis, University of California, Syllabus nº 397.
- CAMARGO, A.PAES DE, SALATI, E. & GODOY, H. 1957 - Relatório sobre as experiências de combate à geada realizadas pelo I.A.C. e "ESALQ", como colaboração à comissão de estudos para a defesa contra a geada, em Campos do Jordão, em ju

- nho de 1957. I.A.C. (Mimeografado).
-
- & SALATI, E. 1960 - Pesquisas sôbre o combate à geada: relatório dos trabalhos realizados em Apucarana, Paraná, em julho de 1959. I.A.C. (Mimeografado).
-
- & SALATI, E. 1966 - Determinação da temperatura letal da folhagem de cafeeiro em noite de geada. *Bragantia* 25:LXI-LXIII.
- CAMARGO, R. & TELLES, A.Q.J. 1953 - O café no Brasil - Rio de Janeiro, Serviço de Informação Agrícola do Ministério da Agricultura, 1ª edição.
- CAMARGO, T. de A. 1921 - Contribuição para o estudo das transformações químicas sofridas pelas fôlhas de cafeeiro - (*Coffea arabica* L.) mortas pela geada. E.S.A. "Luiz - de Queiroz", Série Agrícola, Boletim 8:17.
- CHANDLER, W.H. 1954 - Cold resistance in horticultural plants: a review - *Proceedings of American Horticultural Science*, 64:552-572.
- CHAVES, O.E. 1953 - Relatório sôbre a operação geada.
- D'UTRA, G.R.P. 1919 - As geadas - *Boletim de Agricultura*, série 20, nº 9:371-430.
- FERRAZ, E.S.B. 1967 - O uso de pares termoelétricos e termistores em Meteorologia. ESALQ (Mimeografado).

- FERRAZ, J.S. 1923 - A previsão das geadas - Boletim de Agricultura, série 24, nº 5:180-198.
- FERREIRA, J.C.F. 1953 - Defesa dos cafeeiros contra as geadas, Boletim do Serviço da Superintendência dos Serviços do - Café, ano 28, nº 316:45-49.
- FRANCO, C.M. 1958 - Influência da temperatura no crescimento do cafeeiro - Boletim nº 16 do IBEC. Research Institute.
- GRANATO, L. 1907 - Agronomia geral - São Paulo, Tipografia Falcão, 1ª edição.
- GRANER, E.A. & GODOY, C. JUNIOR 1960 - Culturas da fazenda - brasileira - São Paulo, Editôra Melhoramentos, 1ª edição.
- & ————— 1967 - Culturas da fazenda brasileira. São Paulo, Editôra Melhoramentos, 4ª edição.
- HESS, C.E. 1965 - Curso intensivo de fisiologia vegetal aplicada à horticultura - Universidade Rural de Minas Gerais, Viçosa. (Mimeografado).
- LEVITT, J. 1956 - The hardiness of plants - New York, Academic Press Inc., 1ª edição.
- LUCAS, J.H. 1954 - Subcooling and ice nucleation in lemons. Plant Physiology 29(3):245-251.
- MATTOS, F.B. 1923 - As geadas e as núvens de fumaça - Boletim de Agricultura, série 24, nº 5:52-65.

- 1927 - O calor da atmosfera e do solo - as geadas. Boletim de Agricultura, série 28, nº 1:250-259.
- MENEZES, A.S. 1942 - As geadas e a lavoura cafeeira - Boletim da Superintendência dos Serviços do Café, ano 17, nº 183: 748-751.
- PÁDUA DIAS, A. 1922 - As geadas e a proteção das grandes culturas contra este meteoro - O Solo, ano 11, nº 1:2-6 e nº 2:45-50.
- PARKER, J. 1963 - Cold resistance in woody plants - The Botanical Review, vol. 29:123-201.
- PAULA, J.T. 1880 - As geadas - Jornal do Agricultor, ano 2, tomo 3:158.
- PAZANEZE, F. 1950 - Observações em torno do combate à geada nos Estados Unidos da América do Norte. Boletim da Superintendência dos Serviços do Café, ano 25, nº 286:961-976.
- PIETTRE, M.M. 1925 - Production Industrielle du Café - Paris, Librairie E.L. François, 1ª edição.
- SANTOS, J.M., SALATI, E. & ACCORSI, W.R. 1958 - Relatório preliminar das pesquisas realizadas em Campos do Jordão, em julho de 1958, relativas ao fenômeno geada e sua influência em mudas de cafeeiros e anexos. Instituto Agrônomico de Campinas. Mimeografado.

_____ 1960 - Ensaio com termômetro de mínima - In
Estudos sobre o fenômeno geada. Instituto Agronômico de
Campinas. Mimeografado.

SCHOONOVER, W.R., HODGSON, R.H. & YOUNG, F.D. 1930 - Frost -
protection in California orchards - California Agricultural
Circular Extension Service, Circular 40.

_____, BROOKS, F.A. & WALKER, H.B. 1939 - Protection
of orchards against frost - California agricultural ex-
tension service, Circular nº 111.

SCHROEDER, R. 1954 - Resumo dos relatórios das viagens ao Nor-
te do Paraná e Campos do Jordão. Instituto Agronômico -
de Campinas. (Não publicado).

_____, 1957 - Clima das zonas cafeeiras - In Iº Curso
de cafeicultura. Instituto Agronômico de Campinas, 3ª
edição.

STAUFFER, J.F. 1967 - Laboratory directions for plant physio-
logy - Madison, The University of Wisconsin, Department
of Botany.

WAGGONER, P.E. & SHAW, R.H. 1952 - Temperature of potato and
tomato leaves - Plant Physiology 27(4): 710-724.

10. APÊNDICE

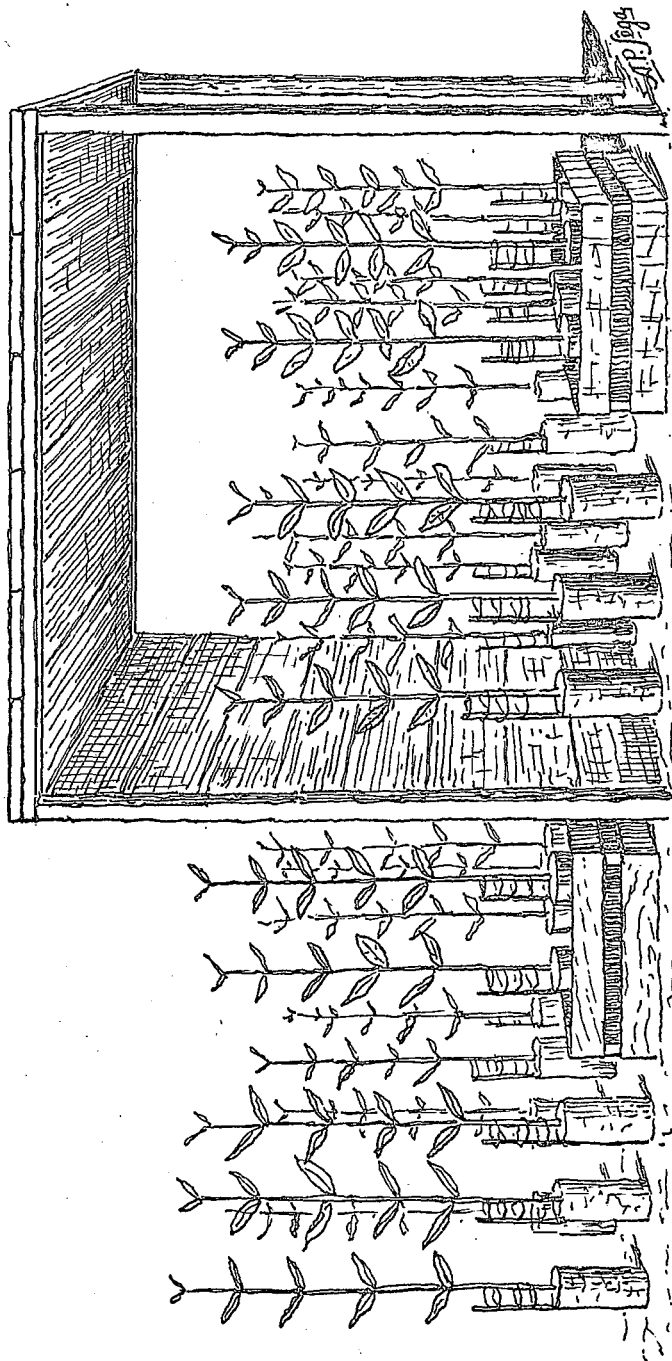


FIGURA 1 - Abrigo de madeira utilizado nos ensaios de campo.

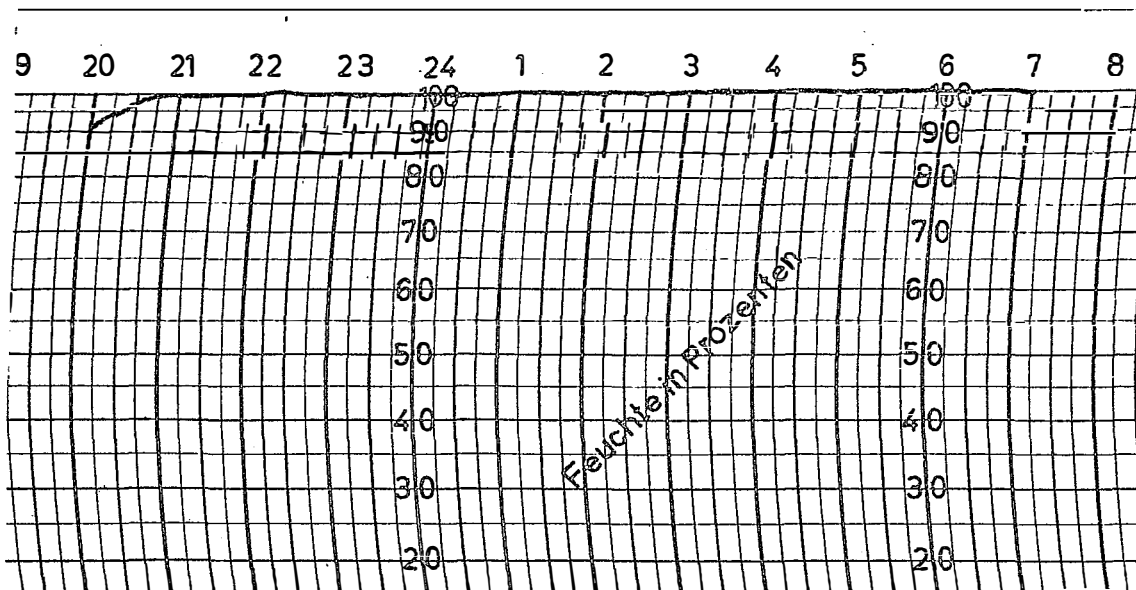


FIGURA 2 - Variação da umidade relativa no período de 19/20

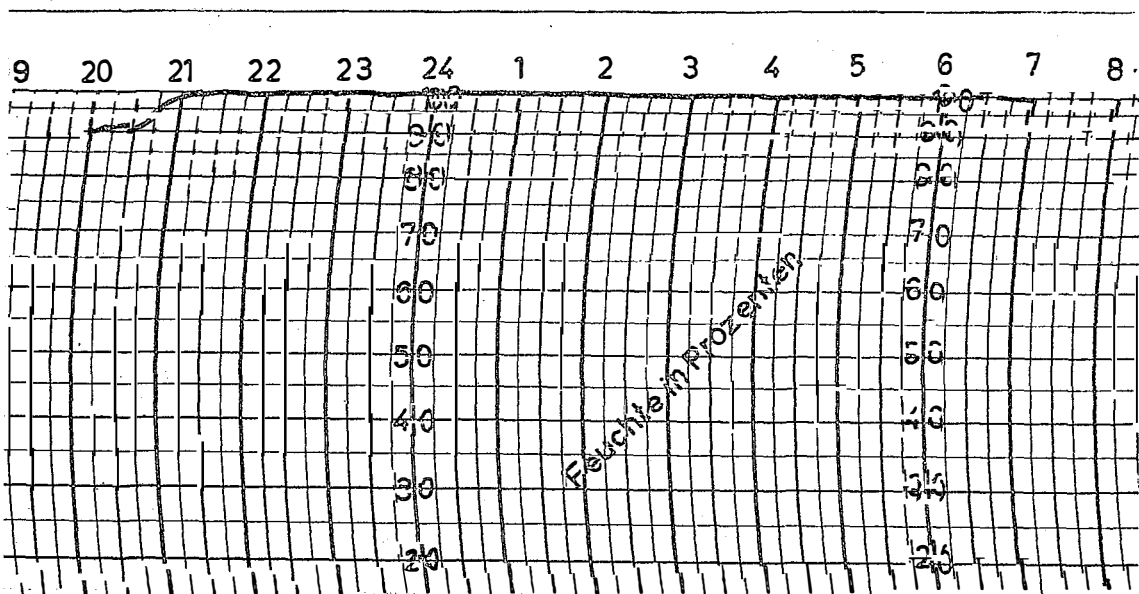


FIGURA 3 - Variação da umidade relativa no período de 20/21



FIGURA 4 - Fotografia tirada as 22 horas mostrando deposição de gotas de orvalho sôbre as fôlhas.



FIGURA 5 - Fotografia tirada às 4 horas mostrando fôlhas cobertas com gêlo.



FIGURA 6 - Fotografia mostrando um par termoelétrico introduzido no mesofilo foliar através de uma domácia. Ao lado , outro par, no qual se pode vêr o tamanho da junção.



FIGURA 7 - Fotografia mostrando fôlhas muito danificadas ao lado de fôlhas que nada sofreram.



FIGURA 8 - Fotografia de uma das fólhas mostradas na figura anterior vista contra a luz.

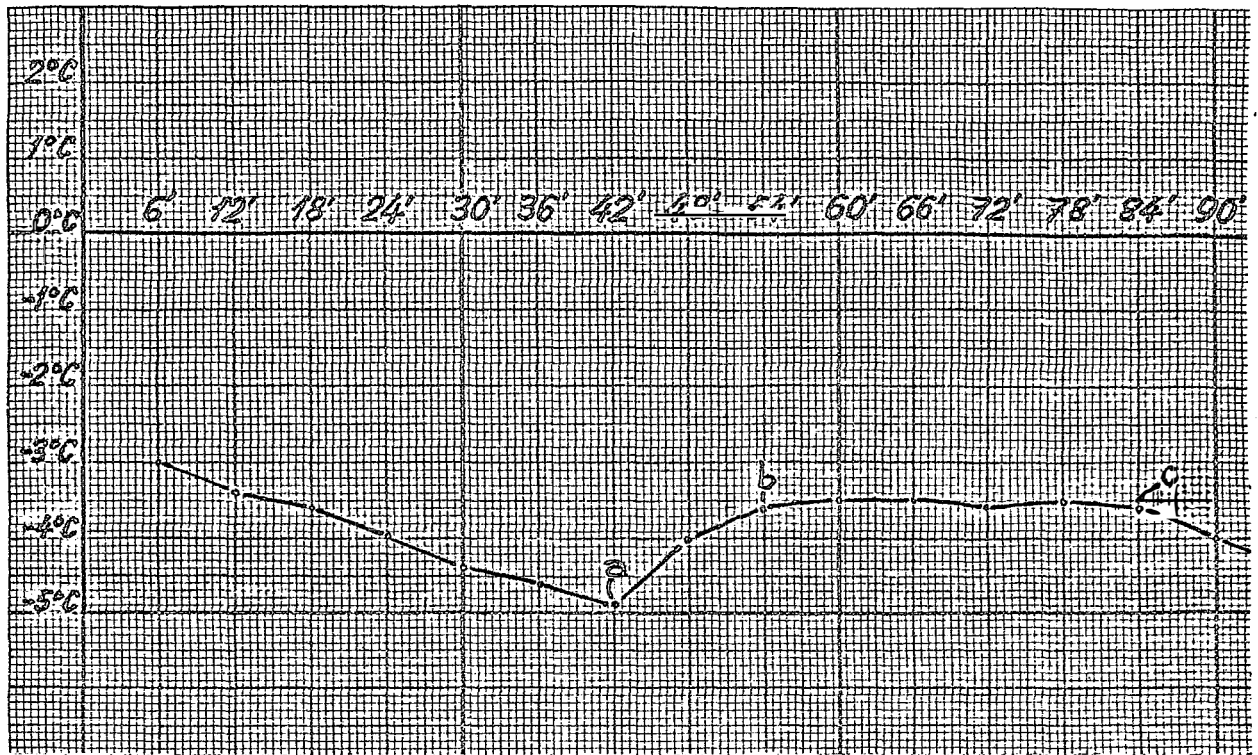


FIGURA 9 - Gráfico construído com dados reais mostrando a sequência final de uma das determinações de temperatura de subresfriamento a e temperatura de congelação, a temperatura mais alta entre b e c . O tempo necessário para se completar a congelação da fôlha é de cêrca de 30 minutos.



FIGURA 10 - Fotografia de uma fôlha retirada do congelador 15 minutos após o início da congelação. Os danos mostrados são da ordem 5,