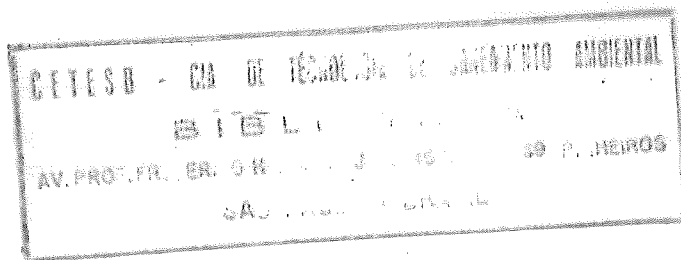


A SOC STRA
PROCESSARQUIVA
JF

Pj. 14.1 - Elaborar um plano para análise dos dados do radar acústico e implantar este plano



ARQUIVO TECNICO

14/04/79
GEE-AR/DMT

Superintendência de Tecnologia do Ar
Diretoria de Tecnologia de Saneamen-
to do Ar e de Controle de Fontes de
Poluição

CLASS	
	22784

B306
 C338e (RCET)
 022784

10.

11.

12.

13.

14.

15.

16.

17.

18.

19.

20.

21.



Í N D I C E

Resumo	02
1 - Introdução	03
2 - Objetivos do Equipamento	05
3 - Princípios Operacionais	06
4 - Interpretação das Medidas Diárias	14
5 - Estudos a serem desenvolvidos	19
6 - Plano para Análise dos Dados do Radar.	23
Bibliografia	25

RESUMO

O presente plano faz parte do Projeto 14.1 do Plano de Atividades STAR/1979. Procurou-se descrever os princípios físicos e operacionais da sonda acústica; os métodos de leitura do diagrama; métodos de análise dos dados visando os efeitos dos parâmetros meteorológicos de pequena escala da camada limite superficial e plasmática atmosférica sobre a qualidade do ar; e finalmente a implantação e evolução dos métodos de análise sob o ponto de vista de rotina.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA1 - INTRODUÇÃO

No presente relatório pretende-se o seguinte:

- a) descrever sucintamente os princípios físicos da sonda acústica;
- b) os princípios operacionais de funcionamento;
- c) leitura e interpretação das medidas diárias; e
- d) estabelecer um plano de aplicação dos resultados coletados e interpretados entre a meteorologia e a poluição do ar.

No estudo do campo da física da atmosfera, foi verificado existir uma relação bem definida entre a acústica, a termodinâmica, e a mecânica da turbulência. A determinação de níveis sonoros em acústica atmosférica, por meio de modelos matemáticos, necessita de um conhecimento relativamente detalhado dos parâmetros atmosféricos de pequena escala, em particular, da distribuição vertical da temperatura do campo tridimensional do vento médio e assim como as demais flutuações turbulentas em maiores ou menores escalas. Por outro lado, uma das técnicas desenvolvidas atualmente para medição dos efeitos turbulentos da atmosfera tem sido através da sonda acústica cujo princípio físico de funcionamento é baseado na difusão de ondas acústicas devido a heterogeneidade térmica e dinâmica do ar atmosférico. Cabe informar ainda a diferença fundamental existente entre as características de propagação das ondas eletromagnéticas e acústicas num meio em repouso; a propagação das ondas acústicas está essencialmente ligada ao índice de refração e as propriedades termodinâmicas do meio o que não ocorre com a propagação das ondas eletromagnéticas que é função da densidade e da estrutura elétrica das moléculas do gás atmosférico, uma vez, que para este tipo de propagação a velocidade do meio é desprezível.

O sistema da sonda acústica é largamente utilizado para estudos na camada limite superficial atmosférica visando o controle da poluição do ar. McAllister (1969) estabeleceu ser possível detectar uma pequena parcela de energia que tenha sido espalhada por um feixe vertical ascendente de som no campo heterogêneo da

estrutura de densidade nos níveis inferiores da atmosfera, na baixa troposfera e assim obter um registro visual num display gráfico como função da altura (m) e tempo (hr.). McAllister cita ainda que a propagação do som na atmosfera é influenciada por uma série de fatores físicos, entre eles, as variações de pressão do vapor d'água. Em muitos casos McAllister obteve pulsos sonoros de retorno com certo grau de nitidez quando ocorreram flutuações de temperatura numa faixa de variações maior que 0.05°C para uma frequência maior do que 1 Hz.

Segundo Tombach (1973) um instrumento que seja capaz de transmitir um pulso acústico para atmosfera e receber a energia de retorno espalhada é chamado de *Sonda Acústica Monostática*. Devido a semelhança entre sua operação com ondas acústicas e a operação do radar com ondas eletromagnéticas, outros termos descritivos para uma sonda acústica são: "Radar Acústico" e "Sodar" (significando Sound Detection and Ranging).

2 - OBJETIVOS DO EQUIPAMENTO

A sonda acústica monostática modelo 300C, adquirida pela CETESB da Companhia Americana Aerovironment Inc., através da Philips S/A, tem como finalidade básica detectar regiões de pequena escala de turbulência na camada limite superficial atmosférica e converter a informação captada para um display gráfico que reproduza a estrutura atmosférica obtida acima da antena monostática. Este sistema é aplicado numa série de pesquisas e em rotina de monitoramento associados com a meteorologia e qualidade do ar.

A sonda utiliza um sistema de antena parabólica monostática que emite um pulso acústico e em seguida capta energia espalhada pela atmosfera. Este sinal de retorno representa a propagação de energia acústica através da atmosfera cujo espalhamento é provocado pelas flutuações turbulentas do campo de temperatura. Em geral é particularmente empregado no rastreamento de fenômenos meteorológicos na camada limite superficial e planetária da atmosfera. A monitoragem é contínua cobrindo uma extensão vertical de até 1 Km, determinando a parte mais importante da baixa atmosfera para propósitos operacionais.

3 - PRINCÍPIOS OPERACIONAIS

A figura 1, mostra o conjunto da sonda monostática onde se verifica que a energia acústica é gerada no transdutor acima da antena circular sendo transmitida para baixo através do cone e em seguida refletida pela antena parabólica para a atmosfera. A trajetória da energia acústica é invertida para recepção dos ecos espalhados e o transdutor atua como um microfone receptor. Ao lado da antena monostática, na figura 1, há uma unidade numa caixa que contém todo mecanismo eletrônico necessário e um diagrama que registra o sinal recebido. A figura 2, mostra um diagrama de bloco simplificado da configuração eletrônica para esta unidade o qual será discutido abaixo. Algumas especificações de operações serão dadas para ilustrar os valores representativos das variáveis do sistema.

A sequência operacional inicia quando o furo na correia que movimenta a caneta é localizado num ponto tal, que a caneta esbarra na parte inferior do cartão quando o pulso, de transmissão é gerado e produz um pulso de gatilho que dá partida a todas as operações subsequentes (ver, A-A'). O pulso aciona o relé que liga a antena monostática transmissora para saída do amplificador de potência e engatilha o oscilador para gerar uma portadora sonora de 1600 Hz. A posição relativa temporal do furo na correia da pena e o ponto de escrita, são ajustados de tal modo que a pena deverá estar na posição inferior do diagrama no momento em que o pulso de transmissão for gerado, este pulso finaliza a transmissão após um tempo selecionado pelo próprio sistema. A antena monostática é conectada ao pré-amplificador do receptor e ao filtro. Quando a pena move-se para cima, no diagrama, e o sinal do receptor tendo sido amplificado, filtrado e demodulado será dirigido à pena através do seu eletrodo, o seu movimento é função de uma taxa proporcional ao tempo de retorno de propagação do som. Assim, por exemplo, os sinais de retorno são captados, devido a espalhamentos atmosféricos de fontes acima de 100m da antena e são transmitidos para pena quando esta se encontra sobre a linha de 100m na escala do diagrama.

O contato da pena sobre o papel especial condutivo queima uma camada branca (externa) e expõe um traço escuro o qual é proporcional a corrente que se propaga através da pena, isto é, o retorno é proporcional à intensidade do espalhamento atmosférico. Para compensar a atenuação do eco de retorno quando a faixa de transmissão aumenta, a voltagem ganha do receptor é aumentada segundo as variações do intervalo de tempo do pulso transmitido, consequentemente, a intensidade do registro no diagrama é uma função do espalhamento acústico produzido pela turbulência atmosférica e é aproximadamente independente da distância entre a antena e a fonte de espalhamento.

Quanto a antena monostática é usada para emitir e receber os pulsos sonoros. Como transmissor ela converte um sinal elétrico 100 Watts, 1600 Hz num feixe de 13 graus de energia acústica que se propaga verticalmente para atmosfera. Como receptor, detecta ecos refletidos de retorno de regiões da turbulência atmosférica e converte-os em sinais elétricos. Acima da antena sobre um tripé está montado um altofalante ligado a um condutor onde este conjunto atua como um transdutor, os quais são o ponto focal da fonte sonora do refletor. Durante a transmissão o transdutor é calibrado para operação contínua de 100 Watts e tem uma impedância elétrica de 11 Ohms.

Quando usado como receptor, a antena concentra a energia dentro de um feixe de 13 graus na fonte sonora efetiva receptora e o transdutor gera um sinal elétrico análogo ao do sinal acústico. Maiores especificações sobre a antena são listadas na tabela 1.

No funcionamento normal do equipamento observa-se que o registro dos ecos de retorno, sobre o diagrama, nem sempre se refere às características turbulentas da atmosfera. Embora o feixe acústico radiado e recebido pela antena parabólica estejam bem sincronizados, os níveis de ruídos ambientais, nas proximidades da sonda, são bem maiores do que a potência do eco e consequentemente a recepção do ruído através dos lóbulos laterais da antena possam afetar a qualidade do sinal. Os níveis sonoros gerados pelos lóbulos

laterais, do sinal transmitido, poderão ser significantes para criarem problemas de "poluição sonora" em regiões silenciosas. Para evitar a influência dos lóbulos laterais da antena, esta fica dentro de um sistema fechado lateralmente e aberto na parte superior chamado de Shield acústico (ver fig. 2). Este sistema de atenuação acústica absorve os sinais sonoros maiores do que 20 dB, e conseqüentemente pode-se dizer que os níveis sonoros ambientais que excedam a 70 dB(A) afetam o sinal de retorno para a antena parabólica.

Maiores especificações para o funcionamento da sonda monostática são apresentados na tabela 2.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

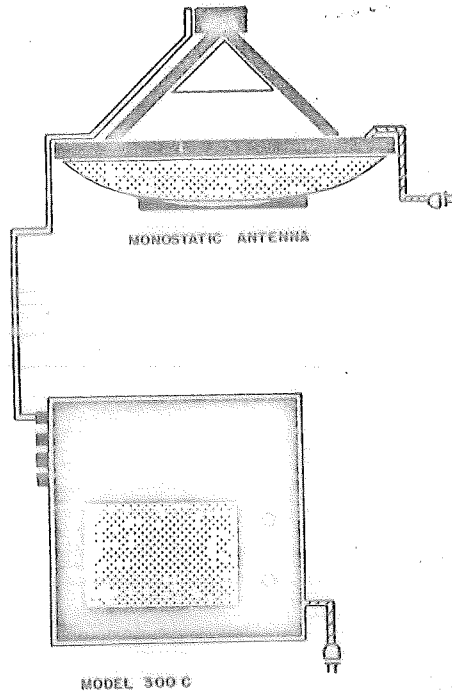


Figura 1 - SISTEMA MONOSTÁTICO

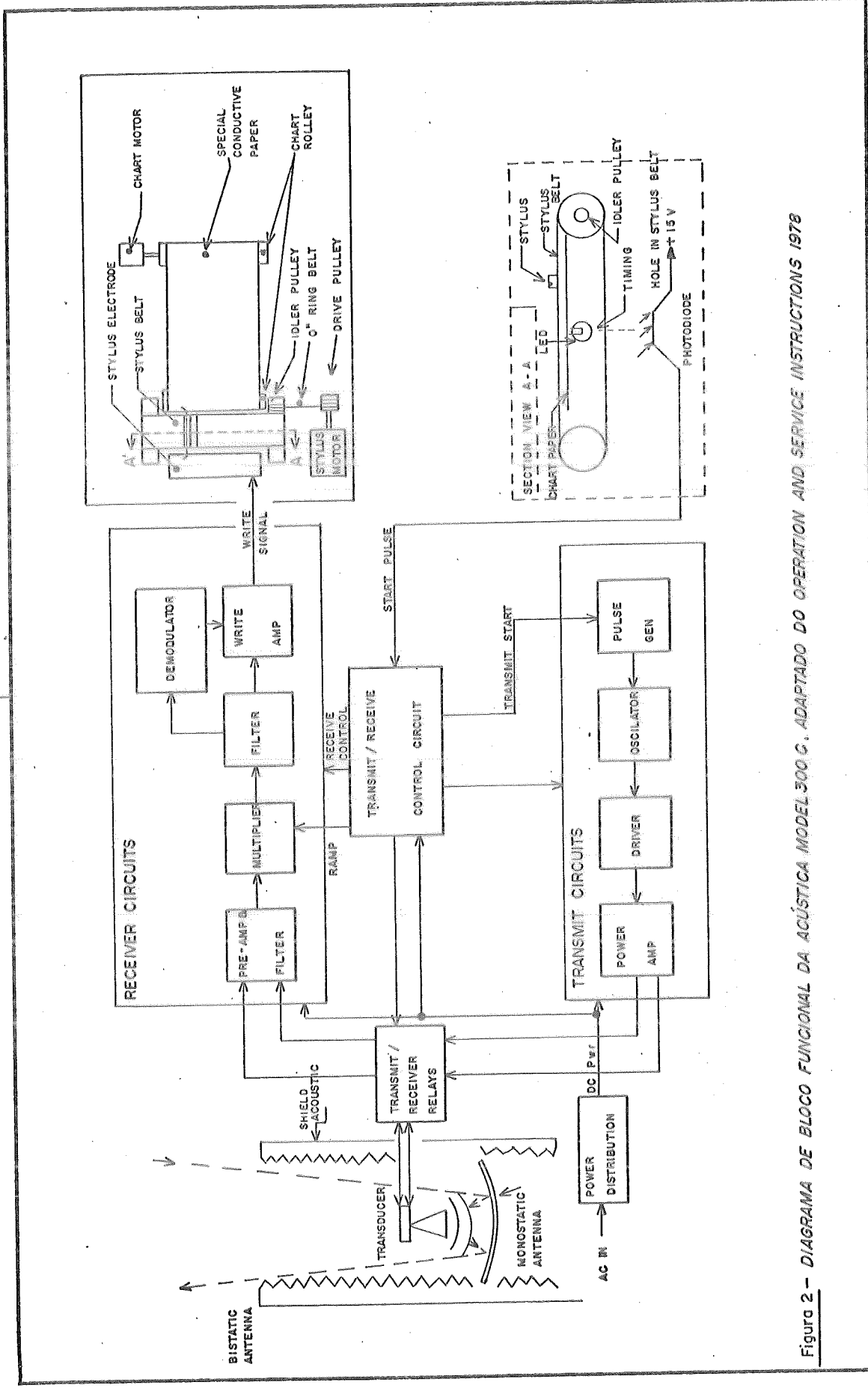


Figura 2 - DIAGRAMA DE BLOCO FUNCIONAL DA ACÚSTICA MODEL 300 C. ADAPTADO DO OPERATION AND SERVICE INSTRUCTIONS 1978

TABELA 1 - Especificações sobre a antena monostática

SISTEMA	ELEMENTO	FAIXA DE VARIAÇÃO
Condutor de som	Potência máxima Impedância Frequência	100 Watts RMS 11 Ohms 275 a 800 Hz
Megafone	Tipo Frequência Material Revestimento	forma de sino com passagem superior estreita e cônica 1600 Hz alumínio aquaplas
Refletor	Tipo Dimensões Suporte Material	parabólico diâmetro do refletor (121,9 cm) extensão focal (46,8 cm) diâmetro exterior (131,4 cm) espessura (19,7 cm) três 5/8 x 11 em forma de parafuso corpo de fibra de vidro mas sa gelatinosa rígida

TABELA 2 - Especificações do Modelo 300C

SISTEMA	ELEMENTO	FAIXA DE VARIAÇÃO
Transmissor	Frequência	1 600 Hz
	Pulso	50, 100, 200 m/s
	Potência de saída	100 Watts
	Impedância de saída	8 Ohms
	Taxa de pulso de repetição	1 para 9 seg. (na escala de 500 m) 1 para 18 seg. (na escala de 1000 m)
	Chaveamento monostático	alternação automática
Receptor	Ganho	10 ⁸
	Compensação de ganho	proporcional ao tempo de transmissão
	Seleção de espessura da faixa para saída/entrada no filtro	20, 40, 80 Hz
	Limites de faixas de recepção	500m, 1000m - escala máxima 20m - escala mínima 10m - resolução
Diagrama	Tipo	tempo-altura-intensidade (TAI)
	Técnica	gravura elétrica do papel condutivo
	Tamanho do papel	(15,2 cm) x (22 m)
	Velocidade do papel sobre o rolo	3,05 cm/hora
	Duração	28 dias
Caixa de Controle Eletrônico	Tamanho	L = 44 cm; E= 44,5 cm; Alt. 21,5 cm
	Peso	20,5 kg
	Potência	115 VAC; 60 Hz; 50 W (médio); 250W pico
	Faixas limites de temperatura	5 °C a 40 °C
Antena Monostática Parabólica	Distância máxima da caixa de controle eletrônico	61,0 m

4 - INTERPRETAÇÃO DAS MEDIDAS DIÁRIAS

Nos itens anteriores procurou-se descrever os princípios físicos e um breve resumo do funcionamento do sistema eletrônico, cujo o objetivo final é traduzir estes mecanismos de medidas em informações da atmosfera sobre um diagrama do sistema. Neste capítulo será descrito os métodos de interpretação do diagrama baseado no que ele é capaz de fornecer.

O diagrama de leitura da sonda acústica, é mostrado na figura 3, o eixo horizontal do diagrama representa o tempo (hr.) e o vertical a altura acima do nível do solo. A divisão das linhas na escala horizontal estão associadas com uma escala de tempo (hr.) de aproximadamente uma hora, entretanto é de se esperar mudanças de $\pm 3\%$ devido a variações na elasticidade do papel provocada pelos efeitos da temperatura e umidade do ar. A marcação precisa do tempo é gerada eletronicamente através do quadro de circuito de amplificação de escrita, que quando ativado pelas mudanças da chave seletora para a posição RUN, produz uma linha vertical branca sobre o diagrama a cada hora. As maiores divisões na escala vertical representam incrementos de 100m de altura quando a unidade é colocada na faixa de operação de 1000m; da mesma forma quando for colocada para operar na faixa dos 500m neste caso as divisões representam incrementos de 50 metros.

O funcionamento da sonda, conforme já explicado, é baseado no princípio de espalhamento de um sinal acústico transmitido e a parcela de retorno captada pela antena é registrada no diagrama tempo-altura. As combinações da turbulência e gradientes de temperatura produzem dois tipos de ecos chamados de *cisalhamento de ecos* e *ecos térmicos*, figura 4. Conforme ilustra a figura, os cisalhamentos de ecos tendem ser horizontais e contínuos no tempo, enquanto que os ecos térmicos surgem em formas de pontas verticais se elevando do solo. Os cisalhamentos de ecos são causados por turbulências nas regiões de estabilidade estática (temperatura potencial θ aumentando com a altura) e marcam regiões de fraca mistura vertical. Os ecos térmicos estão associados com

forte mistura vertical e as porções inferiores, mais contínuas, são causadas pelas condições instáveis, camadas superadiabáticas (decréscimo de θ com a altura) que ocorrem próximo do solo quando este é submetido a forte aquecimento.

A figura 5, do Departamento de Pesquisa Atmosféricas da Aerovironment, mostra um exemplo real de leitura do diagrama da sonda, onde se observa vários tipos de interferências as quais poderão confundir o operador no momento da leitura, pois nem todos os sinais observados se referem as características turbulentas da atmosfera.

Para os propósitos operacionais que se pretende, o ponto importante é que os ecos cisalhantes representem mistura vertical fraca e os ecos térmicos marquem regiões de forte mistura vertical. Deve-se ressaltar que a ausência dos ecos cisalhantes não implicam no desaparecimento da camada estável.

Os resultados apresentados são uma série de vantagens que o diagrama proporciona, entretanto uma das grandes desvantagens é que o mesmo só poderá ser retirado após o período operacional contínuo de 28 dias e a possibilidade de se estender uma ligação direta para a central da rede automática talvez seja possível através da instalação de um sistema interface automático que digitaliza a amplitude de saída dos sinais do radar acústico.

14

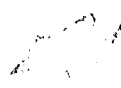
 AEROVIRONNEMENT INC.
PASADENA, CALIFORNIA

CHART No. 302-1002

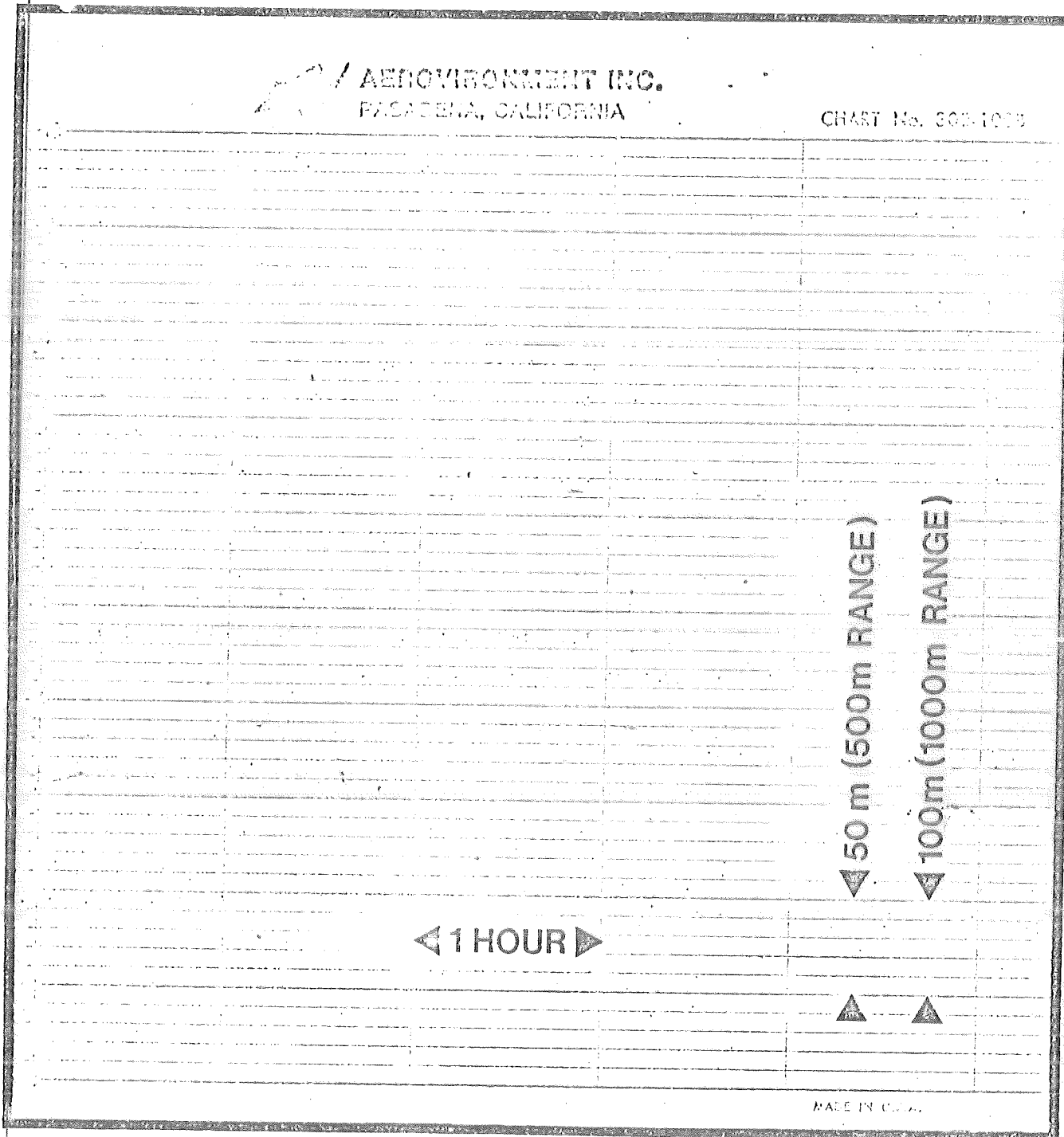


FIGURE 3 Acoustic Radar Chart Paper.

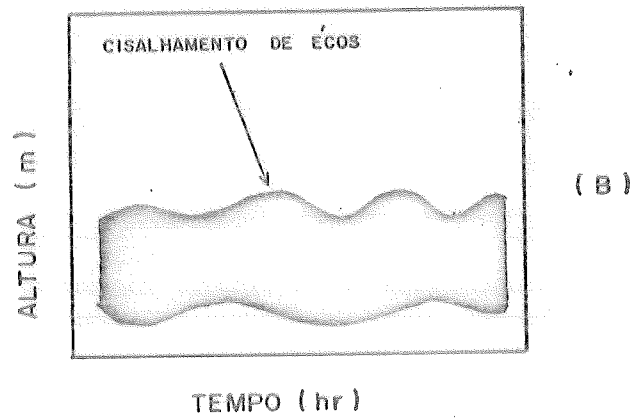
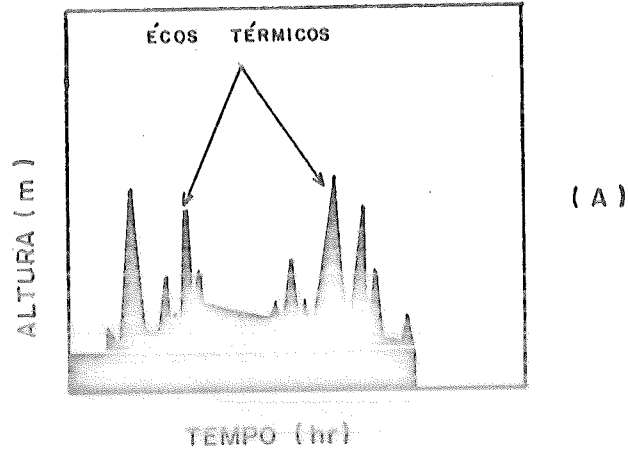


Figura nº 4 — TIPOS DE SINAIS SONOROS CAPTADOS E REGISTRADOS NO DIAGRAMA

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

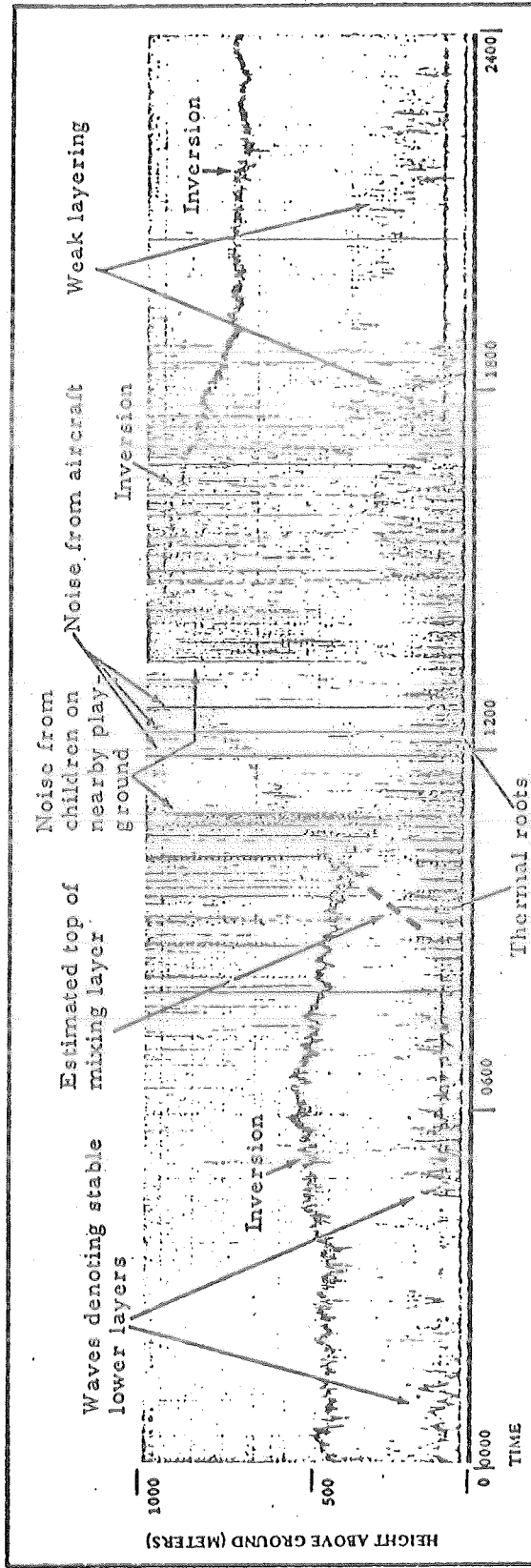


Figure 5. Diurnal variation of height of an elevated inversion layer over a valley near the Pacific Coast of California (21 March 1974).

5 - ESTUDOS A SEREM DESENVOLVIDOS

A rotina de leitura da sonda será utilizada no monitoramento de alguns fenômenos meteorológicos, visando o aperfeiçoamento da previsão da dispersão atmosférica para se atingir um melhor controle da qualidade do ar na região da camada limite. De acordo com os recursos técnicos apresentados pela sonda monostática, conforme descrito anteriormente, não é possível se conhecer todas as interferências da atmosfera sobre a poluição uma vez que se dispõe apenas de uma sonda e a abrangência da sua escala horizontal é limitada. Diante disso os principais fenômenos a serem observados para a avaliação da qualidade do ar através dos dados meteorológicos do equipamento, seguem abaixo:

- a) evolução da extensão vertical da camada de mistura;
- b) altura da base da inversão e suas contínuas variações;
- c) atividades convectivas (ecos térmicos);
- d) extensão vertical da camada de nevoeiro e dos baixos stratus;
- e) informações sobre o processo de mistura abaixo da base da inversão;
- f) correlação entre os perfis obtidos das duas sondagens Ponto da F.A.B. e a evolução contínua dos perfis obtidos na sonda para calibração do sistema;
- g) estudos sobre os movimentos ondulatórios turbulentos dentro da camada limite superficial atmosférica; e
- h) informações sobre as condições de estabilidade atmosférica nos baixos níveis no período diurno.

No uso da sonda acústica para estudar-se os fenômenos acima será importante combinar-se alguns equipamentos meteorológicos. No local onde se encontra instalado o radar, há um anemógrafo ligado diretamente na rede que será de grande valia para interpretação dos resultados, entretanto como se trata de informações baseadas no campo de estrutura turbulenta da temperatura, percebe-se a necessidade da instalação de equipamento desta natureza acoplado a um higrógrafo; isto é, o instrumento próprio deverá ser o higrótermógrafo. Evidentemente com a presença destes equipamentos poderíamos traçar uma análise de acordo com o apresentado na figura 6, adaptado do trabalho de Russel (1978).

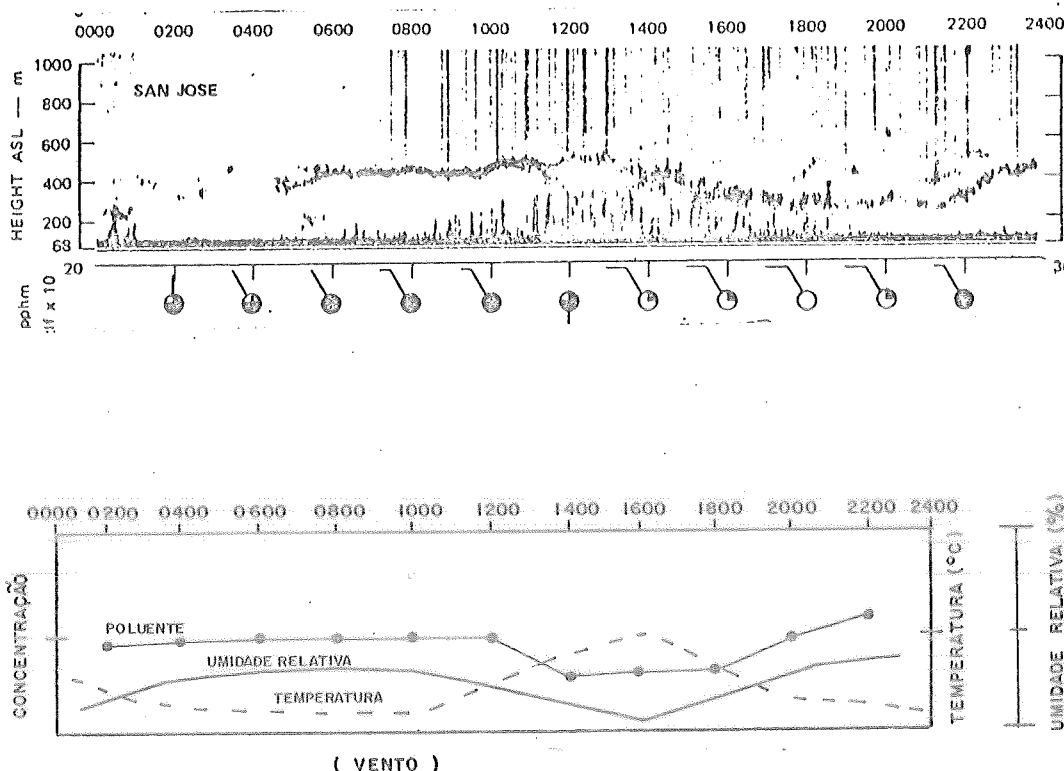


Fig. 6 - Estrutura do eco acústico, perfis de temperatura, umidade, vento (direção e velocidade) e poluição.

O modelo proposto na figura 6, seria uma forma de interpretação, com o fim de se enquadrar todos os dados medidos na mesma estação.

Com relação à correlação para calibração entre os perfis obtidos na F.A.B. e os medidos pelo radar acreditamos ser perfeitamente possível; entretanto vai depender da qualidade do sinal recebido pela sonda. Wyckoff (1973) realizou um estudo comparativo entre os dados do radiossonda e os obtidos através da sonda acústica o qual obteve resultados satisfatórios. As sondagens foram realizadas duas vezes em 24 horas enquanto a sonda desenvolveu monitoragem contínua no período de medidas. A comparação induziu a possibilidade de se prognosticar a formação e a quebra da inversão com bastante antecedência em tempo real, que segundo Wyckoff a per-

cepção da formação ou quebra da inversão é precedida através de um movimento ondulatório de grande amplitude num espaço de tempo longo na camada limite, evidentemente que este tipo de informação proporcionará condições mais seguras de se decidir quando as condições de dispersão estiverem favoráveis ou desfavoráveis. Wyckoff abordou ainda a dificuldade existente nos processos de comparações entre os dois perfis, isto porque a sondagem detecta apenas um único perfil de temperatura, enquanto a sonda mede continuamente a estrutura do perfil de temperatura. Um outro fator abordado pelo autor, foi sobre os pontos de medidas de estarem em locais diferentes uma vez que o sistema atmosférico por mais estratificado que esteja jamais estará em repouso e sim em movimentos dinâmicos diferentes devido a presença dos eddys turbulentos.

Para exemplo ilustrativo apresenta-se na figura 7 uma comparação entre o registro da sonda acústica e o perfil de temperatura do radiossonda o qual mostra uma forte inversão de base no solo a fim de se ter uma idéia como se poderá traçar uma linha de comparação entre os dois sistemas de medidas.

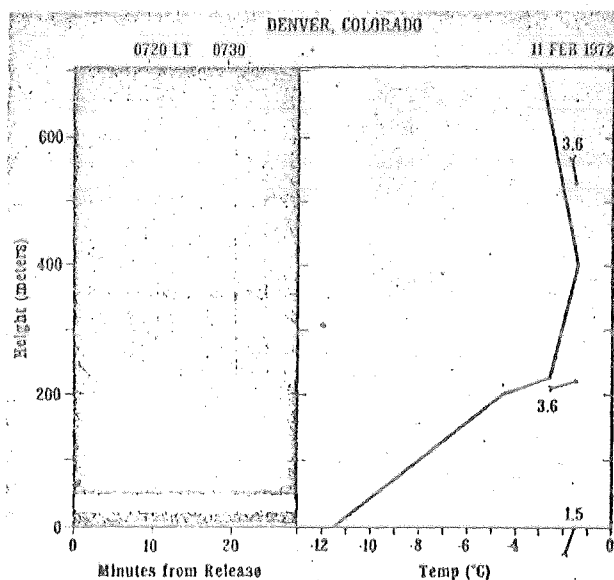


Fig. 7 - Registro da sonda acústica (a esquerda) comparado com os perfis de vento e temperatura do radiossonda (direita). Figura adaptada do trabalho de Wyckoff.

É importante ressaltar os erros introduzidos pelo sistema de radiossondagem, onde os sensores de temperatura e umidade, além de possuírem um tempo de resposta razoavelmente lento sofrem ainda a influência da absorção da radiação solar no equipamento, portanto mascarando os resultados da temperatura, e quando o balão penetra dentro da nebulosidade altera os resultados da temperatura do ponto de orvalho e os deslocamentos laterais do balão devido a advecção horizontal do vento, maiores detalhes sobre os erros do radiossonda são abordados por Middleton (1953). Logo estes efeitos nos processos de medidas no radiossonda não ocorrem no sistema de sonda acústica.

Verificou-se recentemente que o Parque do Ibirapuera foi liberado para área de lazer, e com isto crescem sensivelmente nos fins de semanas o tráfego de veículos automotores e motocicletas (com descarga aberta) que deve ter aumentado o ruído de fundo nas imediações do Shield acústico. Face ao exposto sugere-se como medida preventiva a realização de medições do nível sonoro em faixas de frequências que abranjam 1600 Hz tanto internamente quanto externamente ao Shield acústico e que permitiria uma melhor análise das interferências do ruído próximo a localização da estação. Este trabalho poderá ser realizado em conjunto com a Divisão de Laboratório de Ruído e Vibração (DLRV/STAR).

6 - PLANO PARA ANÁLISE DOS DADOS DO RADAR

A análise dos dados do radar será conduzida inicialmente por um meteorologista acompanhado de um técnico até se obter familiarização com o diagrama do sistema e compreenderá as seguintes etapas:

- a) Acompanhamento do método de calibração, o qual será desenvolvido pelo órgão instalador (Philips S/A), que segundo informações da Divisão do Sistema Telemétrico (DST) se processará durante todo período da garantia (um ano);
- b) Estabelecimento de horário padrão de leitura diária, que dependerá da disponibilidade de pessoal e das necessidades da DMT. Entretanto, o ideal será se estabelecer um horário que atenda a uma padronização de leitura de dados meteorológicos que é realizada de três em três horas. Na impossibilidade desta pretende-se estabelecer uma rotina de duas leituras obedecendo a seguinte escala às 9:00 e 15:00 hs., estes horários estão associados com o tamanho do gráfico no mostrador da caixa eletrônica durante o dia, uma vez que o diagrama possui uma velocidade de deslocamento de 3.05 cm/h.
- c) Leitura e interpretação do diagrama. Esta etapa visa distinguir os sinais de ecos e os de interferências que surgirão graficadas até obter-se boa identidade com os registros diários;
- d) Troca mensal do diagrama uma vez que este possui 22 metros de comprimento e 28 dias de duração. Para realizar-se a troca é importante adotar-se os seguintes passos antes de abrir a caixa;
 - desligamento total do sistema devido a grande voltagem elétrica podendo ocorrer perigo de choque.
 - Trocar o diagrama colocando-o na posição correta segundo especificações do manual de operação.
 - O desligamento da caixa implica na descalibração do sistema, portanto após a troca deverá lembrar de executar a recalibração.

- Ligar o sistema e aguardar o funcionamento normal de registro no diagrama; e
- e) Finalmente a interpretação e análise do diagrama como um todo, considerando as faixas de registros de camadas estáveis que provocarem maiores índices de concentrações de poluentes.

BIBLIOGRAFIA

Middleton, W.E.K., and A.F. Spilhaus - Meteorological Instruments.
University of Toronto Press, (1953) , 260-261 p.

McAllister, L.G., Pollard, J.R., Mahoney, A.R. and Shaw, P.J.R.
Acoustic sounding - A New approach to the study of atmospheric
structure - *Proceedings of the IEEE*, vol. 57, nº 4, (1969),
579-587 p.

Russell, P.B., and Uthe, E.E.. - Acoustic and Direct Measurements
of atmosphere mixing at three sites during an air pollution
incident. *Atmos. Environ.*, vol. 12, nº 5, (1978), 1061-1074 p.

Tombach, I., and MacCready, Jr., P.B.. - Use of a monostatic
acoustic sounder in ar pollution diffusion estimates, *ISA JSP*
6677 - (1973), 139-149 p.

TRANSCEIVER DISPLAY UNIT ACOUSTIC RADAR MODEL 300C - Operation
and service instructions - *Aerovironment Inc.* - 145 Vista Ave.
Pasadena, Calif. 91107 - USA.

Wyckoff, R.J. - A comparison of the Low-Level Radiosonde and the
Acoustic Echo Sounder for Monitoring Atmospheric Stability -
Journal of Applied Meteorology, vol. 12, nº 7, 1973, 1196-1204 p.

