

CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DE CAIXAS DE OVOS E SIMILARES

PACS: 43.55.Ev

António P. O. Carvalho; Sónia C. P. Vieira
Laboratório de Acústica, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto
R. Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal
Tel. +351.225081931
Fax +351.225081940
carvalho@fe.up.pt; sonia.cristina.vieira@gmail.com

ABSTRACT

It is not uncommon to find amateur music rehearsal rooms, coated with egg cartons, as it is an economical solution to allegedly improve it acoustically. This research characterized the acoustically the use of alveolar containers for storage and transportation of food supplies. Six distinct types of boxes for eggs and two fruit trays, were analyzed, a total of 21 different arrangements and materials. The results of sound absorption coefficients, measured in a reverberant chamber, are presented and discussed. In summary, were obtained NRC values between 0.20 and 0.70 and α_w between 0.10 and 0.65.

RESUMO

Não é invulgar encontrar salas amadoras para ensaios de música, revestidas com caixas de ovos, por ser uma solução económica de tentar melhorias acústicas. Este trabalho caracteriza acusticamente o uso de suportes alveolares de armazenamento e transporte de géneros alimentares. Foram analisados em câmara reverberante, seis distintos tipos de caixas para ovos e dois de tabuleiros para fruta, num total de 21 diferentes disposições e materiais. Os resultados dos coeficientes de absorção sonora são apresentados e comentados. Em resumo, foram obtidos valores de NRC entre 0,20 e 0,70 e α_w entre 0,10 e 0,65.

1. INTRODUÇÃO

Muitos locais para música, específicos para desempenhar funções internas, como salas de ensaio de bandas filarmónicas ou de “bandas de garagem” e estúdios de gravação, com baixo poder económico, recorrem a materiais ou sistemas acústicos improvisados, económicos e de fácil aplicação. Um sistema muito usado é o das embalagens de ovos. O objectivo deste trabalho é caracterizar o desempenho acústico de caixas e tabuleiros para ovos e fruta, como material absorvente [1].

2. METODOLOGIA

As medições dos coeficientes de absorção sonora das peças em estudo foram feitas na câmara reverberante da FEUP cf. norma NP EN ISO 354 [1,2] com 48 medições para cada ensaio. As amostras utilizadas são de *papel* e *plástico* (Fig. 1). Os de papel são de celulose moldada e os de plástico (para fruta) são de polipropileno (PP) e poliestireno (PS) (para caixas de ovos). Foram usadas, num ensaio, placas de espuma flexível de poliuretano com 30 mm de espessura. No total foram avaliados 21 casos (incluindo caixas *abertas* e *fechadas* e nas posições *normal* e *invertida*).

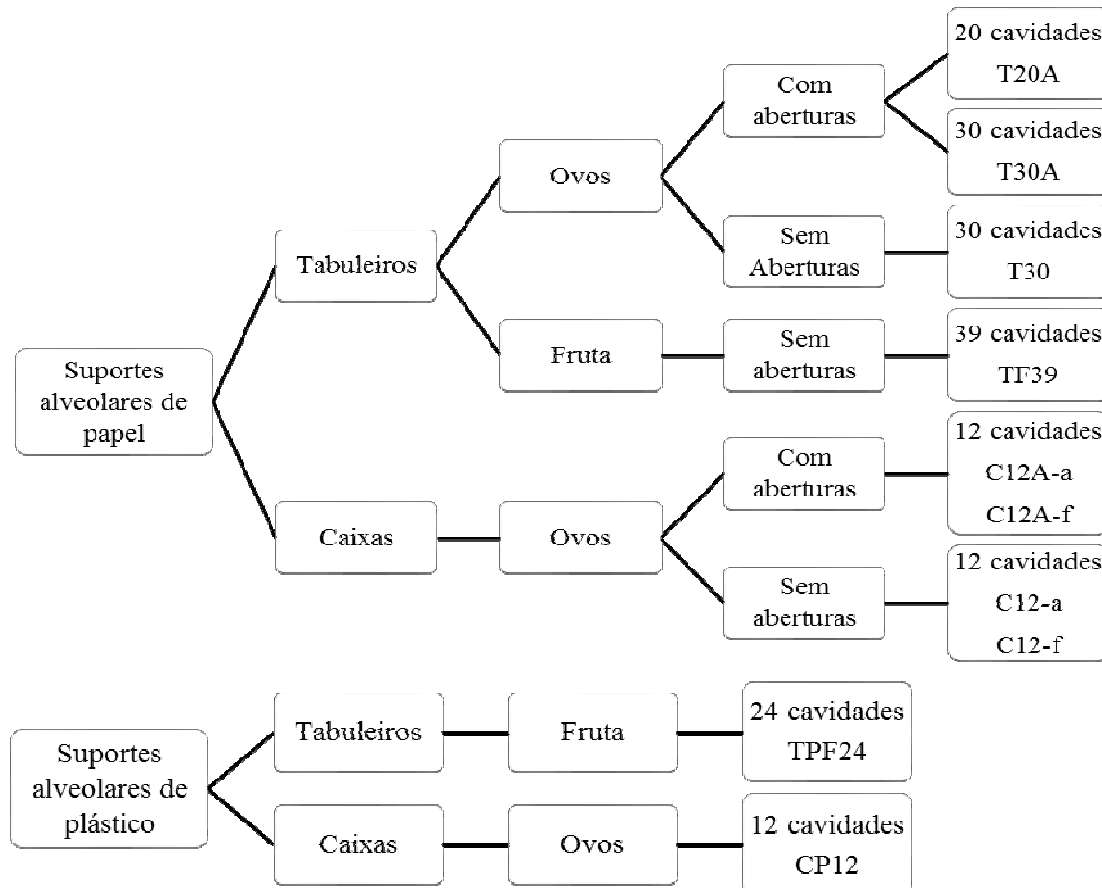


Fig. 1 – Suportes alveolares de papel (em cima) e plástico (em baixo) analisados (T – Tabuleiro, C – Caixa, A – com pequenas Aberturas, a – aberta, f – fechada, F – Fruta, P – Plástico).

3. RESULTADOS

3.1. Suportes alveolares de papel (T20A, T30A, T30, C12A e TF39)

A amostra T20A são tabuleiros de celulose moldada para 20 ovos com pequenas aberturas (Fig. 2). Foram ensaiadas as superfícies de exposição ao som *normal* (-n) e *inversa* (-i). Existem diferenças nos coef. de absorção sonora nas duas superfícies, nas frequências médias e agudas mas nas graves não existe praticamente absorção sonora (Fig. 14). Os resultados da T20A-i são um pouco superiores na maioria das frequências e isto deve-se, principalmente, ao facto da área exposta ser superior na superfície *inversa* do tabuleiro uma vez que as aberturas se encontram “tapadas” pelo pavimento da câmara reverberante, isto é, tendo uma maior área exposta a energia das ondas sonoras dissipa-se mais rapidamente. Nas frequências médias e agudas existe uma translação a partir dos 500 Hz, em que os do T20A-i estão mais à esquerda devido ao facto de existirem pequenas aberturas nos tabuleiros. Quando o tabuleiro está com a face *normal* em contacto com o pavimento as aberturas estão tapadas pelo próprio pavimento e não estão directamente expostas às ondas sonoras, mas se na posição *inversa*, as aberturas estão directamente expostas existindo uma caixa-de-ar até ao pavimento que poderia funcionar

como ressoador. Mas as pequenas aberturas talvez não funcionem como ressoadores (quando os tabuleiros se encontram sobre material reflector) e fazem com que os resultados do T20A-n estejam mais à direita dos resultados do ensaio T20A-i.

A amostra T30A (Fig. 3) são tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos com pequenas aberturas e foram ensaiadas as duas superfícies de exposição: *normal* (-n) e *inversa* (-i). Existem diferenças nas duas superfícies (semelhantes a T20A) pelos motivos já referidos (Fig.14). Como esta amostra tem pequenas aberturas (como T20A) e como elas não funcionam como ressoadores (quando os tabuleiros estavam sobre material reflector) na superfície *normal*, testou-se a superfície *normal* da T30A sobre placas de espuma de 30 mm (Fig. 4). Nas frequências médias existe um pico mais acentuado podendo-se tirar a conclusão que as pequenas aberturas dos tabuleiros talvez funcionem como ressoadores na superfície *normal* mas se colocadas sobre material absorvente (Fig. 14). Analisando os três ensaios à T30A observa-se que sendo colocada sobre espuma de 30 mm (absorvente) tem um melhor efeito nas frequências graves e médias, ou seja as pequenas aberturas têm o efeito esperado. Nas frequências agudas, os resultados são semelhantes. A partir dos 1250 Hz os coef. de absorção sonora da T30A-n-ESP descem para valores aproximados aos do T30A-n, onde se vê que as aberturas talvez funcionem como ressoadores (quando se encontram sobre zona absorvente).



Fig. 2 e 3 – T20A-n - Tabuleiro para 20 ovos (com pequenas Aberturas) com a superfície *normal* para cima; T30A-n - Tabuleiro para 30 ovos (com pequenas Aberturas) com a superfície *normal* para cima.



Fig. 4 e 5 – T30A-n-ESP (esq.) -Tabuleiro para 30 ovos com pequenas Aberturas (superfície *normal* voltada para cima) sobre placas de ESPuma de 30 mm de espessura; (dir.) T30-n - Tabuleiro para 30 ovos (superfície *normal* voltada para cima).

A amostra T30 são tabuleiros de celulose moldada para 30 ovos (Fig. 5) e foi ensaiada pelas duas superfícies de exposição: *normal* (-n) e *inversa* (-i). Nas duas superfícies e tal como nas T20A e T30A, não existe praticamente absorção nas frequências graves e há diferenças nas superfícies *normal* e *inversa*, nas frequências médias e agudas (Fig. 14). Estas poderiam ser devido à diferença de área exposta às ondas sonoras mas neste caso as áreas da superfície *normal* e *inversa* são, aparentemente, iguais e portanto as diferenças devem-se talvez ao facto da superfície *inversa* ser mais rugosa. Os resultados da T30A-i são um pouco superiores na maioria das frequências talvez devido à rugosidade que existe na superfície *inversa*, tal como nas T20A e T30A. A translação que se verifica nas T20A e T30A, nesta não acontece porque a única diferença entre as duas faces é apenas a rugosidade.



Fig. 6 e 7 – (esq.) C12A-a-n - Caixa para 12 ovos (com pequenas Aberturas) aberta com superfície *normal* (esq.) voltada para cima; (dir.) C12A-f-n - Caixa para 12 ovos (com pequenas Aberturas) fechada com superfície *normal* voltada para cima.

A amostra C12A são caixas de celulose moldada para 12 ovos com pequenas aberturas (Fig. 6 e 7). Foram ensaiadas as superfícies *normal* (-n) e *inversa* (-i) com as caixas *abertas* (-a) e *fechadas* (-f). Existem diferenças nas frequências médias e agudas entre os resultados às duas superfícies com as caixas *abertas* (Fig 14), enquanto que nos graves não existe praticamente absorção. Não é fácil avaliar os motivos pelos quais os resultados variam isto porque elas têm configurações muito diferentes em ambos os lados (Fig. 6 e 7) sendo mais rugosas pela parte *normal* quando as caixas se encontram abertas. Pela Fig. 14 observa-se que os resultados à superfície *inversa*, além de crescer mais rapidamente, também oscila mais vezes e deve-se talvez à forma mais robusta que a caixa apresenta na superfície *inversa*. Na superfície *normal*, o pico que existe nos 1250 Hz deve-se talvez às saliências (onde se encontram as pequenas aberturas) que a caixa possui (Fig. 6), porém não é um valor muito elevado talvez porque o pavimento da câmara reverberante ser reflector.

Na Fig. 14 apresenta-se os resultados da C12A pela superfície *normal* (-n) e *inversa* (-i) quando as caixas se encontravam fechadas e os resultados às caixas sem as tampas (Fig. 7 e 8). Analisando apenas os resultados à superfície *normal* e *inversa* quando as caixas se encontravam fechadas (Fig. 14) observa-se que o α_s ultrapassa a unidade nos 500 e 630 Hz, o que não é fisicamente possível para α (valor teórico físico) e isto acontece porque apenas se está a contabilizar a área em projecção horizontal, ou seja além de não se estar a contabilizar a área real incluindo o relevo das caixas (na superfície *inversa*) também não se está a contabilizar a área lateral dos bordos das amostras (na superfície *inversa* e *normal*) que é significativa devido à altura das caixas fechadas (Fig. 7).



Fig. 8 e 9 – (esq.) C12A-a-n-ST - Caixa para 12 ovos (com pequenas Aberturas) Sem Tampa (sup. *normal* para cima, sup. *Normal*, com bicos, encaixada sobre as respectivas tampas); (dir.) C12A-a-i - Caixa 12 ovos aberta (sup. *inversa* para cima).

O pico nos 500 Hz (C12A-f-n e C12A-f-i) é devido principalmente à altura da amostra (Fig. 7). Existem diferenças entre as caixas fechadas quando a superfície *normal* e *inversa* está voltada para cima principalmente a partir dos 1 kHz, enquanto que nas frequências graves e médias não existem praticamente diferenças (Fig. 14). As diferenças devem-se talvez à superfície *inversa* ter relevo enquanto que quando a superfície *normal* está voltada para cima é lisa.

As caixas sem tampas possuem um pico nos 800 Hz e a partir daí os valores diminuem até 2500 Hz (Fig. 14). O pico deve-se talvez às saliências possuírem uma abertura e funcionarem como ressoadores quando são colocadas sobre as tampas. Comparando os resultados destas

três amostras constata-se que o pico da caixa sem tampa encontra-se numa frequência média mais alta do que nas outras amostras, ou seja a frequência de maior eficiência da C12A-a-n-ST é mais alta que as C12A-f-n e C12A-f-i. Nestes três ensaios os resultados já apresentam alguma absorção sonora nas baixas frequências, sendo maiores nas caixas fechadas.

Nos cinco ensaios à C12A (Fig. 14) vê-se que o C12A-f-i é o que tem melhores resultados. Dos 315 aos 3150 Hz o coef. de absorção sonora é superior a 0,60. Comparando C12A-a-n-ST e C12A-a-n a primeira possui o pico nos 800 Hz enquanto que na C12A-a-n está nos 1250 Hz. Esta diferença deve-se talvez ao facto da C12A-a-n-ST ter as saliências com as pequenas aberturas sob material absorvente e da caixa ao estar sobreposta ter uma altura maior.

A amostra C12 são caixas de celulose moldada para 12 ovos (Fig. 9 e 10) ensaiadas nas superfícies *normal* (-n) e *inversa* (-i), estando *abertas* (-a) e *fechadas* (-f). Existem nas frequências médias e altas, diferenças entre a parte *normal* e *inversa* mas o motivo não é fácil de entender porque existem muitas diferenças na parte *normal* e *inversa* e não se tem informação suficiente para se poder fazer uma análise mais complexa (Fig. 14). Porém, pode ver-se que nas altas frequências os resultados apesar de oscilarem mais na superfície *inversa* é em pequenas variações e os seus valores são mais elevados em praticamente todas as frequências e isso deve-se talvez ao facto da superfície *inversa* ser mais robusta (com mais relevo). Relativamente ao facto dos resultados da parte *inversa* estarem mais à esquerda (aumentarem mais rapidamente) deve-se talvez ao facto das aberturas da caixa se encontrarem tapadas pelo pavimento da câmara reverberante (tal como em T20A e T30A).



Fig. 10 e 11 – (esq.) C12-f-n - Caixa para 12 ovos fechada com a superfície *normal* voltada para cima; (dir.) TF39-n - Tabuleiro de Fruta com 39 cavidades com a superfície *normal* para cima.

Tal como nos resultados das amostras anteriores existe um pico nos resultados na C12-f-n (Fig. 14) devido a existirem na tampa umas aberturas e como as caixas se encontram fechadas e o material da caixa é absorvente então talvez funcionem como ressoadores, tendo como frequência de eficácia máxima os 800 Hz. Este pico não é tão acentuado como nos outros casos e isto deve-se talvez ao facto das aberturas serem muito grandes. Comparando os resultados dos três ensaios da C12 (Fig. 14) pode ver-se que nas frequências graves não existe praticamente absorção tanto na exposição à superfície *normal* como na *inversa* quando as caixas se encontram abertas, porém com as caixas fechadas já existe uma absorção mínima. Também se pode ver que os resultados referentes ao ensaio com as caixas fechadas são melhores nas médias frequências e crescem mais rapidamente.

A amostra TF39 são tabuleiros para fruta com 39 cavidades de celulose moldada (Fig. 11) ensaiados nas duas superfícies de exposição: *normal* (-n) e *inversa* (-i). Existem diferenças nas frequências médias e agudas entre a superfície *normal* e *inversa* e nas frequências graves não existe praticamente absorção sonora. Essas diferenças devem-se ao facto da área exposta às ondas sonoras ser superior na superfície *inversa* do tabuleiro (Fig. 14). Nos resultados nas frequências médias e agudas vê-se que na superfície *inversa* o pico do coef. de absorção sonora encontra-se nos 1 kHz descendo de seguida para um mínimo nos 2 kHz enquanto que o pico na superfície *normal* se situa nos 1250 Hz descendo para um mínimo nos 2500 Hz. Existe uma translação dos resultados entre as duas faces e sempre com a mesma diferença de frequências talvez devido à superfície *inversa* ter maior relevo (maior área exposta ao som).

3.2. Suportes alveolares de plástico (CP12 e TPF24)

A amostra CP12 são caixas de poliestireno (PS) para 12 ovos (Fig. 12) ensaiadas nas superfícies *normal* (-n) e *inversa* (-i) com as caixas abertas (-a). Existem diferenças nas frequências médias e agudas entre a superfície *normal* e *inversa* e nas frequências graves não existe praticamente absorção sonora (Fig. 14). Essas diferenças devem-se talvez ao facto de a superfície inversa possuir maior relevo exposto às ondas sonoras.

A amostra TPF24 são tabuleiros de polipropileno (PP) para fruta com 24 cavidades (Fig. 13) e foram ensaiadas as duas superfícies de exposição ao som: *normal* (-n) e *inversa* (-i). Existem diferenças nas frequências médias e agudas entre a superfície *normal* e a *inversa*, e nas frequências graves não existe praticamente absorção (Fig. 14). Essas diferenças devem-se ao facto da superfície *inversa* possuir maior relevo exposto às ondas sonoras. Como o material é plástico e muito leve, não se esperava que existisse absorção sonora, porém existe e é significava em algumas frequências talvez pelos elementos serem muito leves e vibrarem com as ondas sonoras dissipando assim a sua energia.

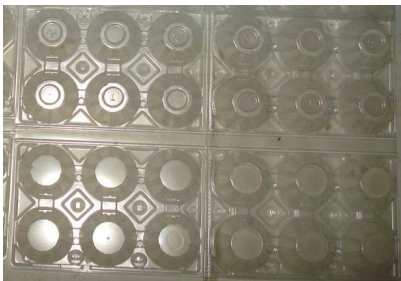


Fig. 12 e 13 – (esq.) CP12-a-i - Caixa de Plástico para 12 ovos com superfície *inversa* voltada para cima. (dir.) TPF24-n - Tabuleiro Plástico de Fruta com 24 cavidades com a superfície *normal* voltada para cima.

4. CONCLUSÕES

Analisando todos os resultados dos Tabuleiros (T) (excluindo T30A-n-ESP) existe diferença na frequência onde se encontra o valor máximo do coef. de absorção sonora (Fig. 14). Quando os tabuleiros tinham pequenas aberturas (A) e estavam com a face *normal* voltada para cima, o pico encontra-se em frequências mais altas e tem um valor um pouco inferior do que quando os tabuleiros tinham a face *normal* para baixo. As aberturas talvez não funcionem como ressoadores e até quando as pequenas aberturas dos tabuleiros estão em contacto com o pavimento da câmara reverberante os resultados são um pouco melhores. As pequenas aberturas não funcionam como ressoadores talvez porque o pavimento da câmara reverberante é reflector, tendo-se comprovado isso através da T30A-n-ESP, pois os resultados foram superiores aos da T30A-n e de todos os outros tabuleiros para ovos.

Comparando os resultados dos tabuleiros para ovos ou fruta observa-se que são muito diferentes (Fig.14). Os para fruta atingem o pico em frequências mais altas e com valores semelhantes aos valores de pico dos para ovos (excl. T30A-n-ESP que tem um pico mais acentuado). Apesar dos α_s de pico serem semelhantes, TPF24-i tem melhor desempenho entre 1,6 e 2,5 kHz e pior entre 500 e 1600 Hz e entre 2500 e 5k Hz, ao contrário da T30-i, onde acontece o contrário. Mas as diferenças entre T30-i e TPF24-i nos intervalos de frequências em que a TPF24-i tem melhor desempenho, são inferiores às diferenças entre os valores nos intervalos de frequências em que a TPF24-i tem piores resultados. Portanto considera-se que os T30-i (excluindo a T30A-n-ESP que é a amostra com melhores resultados de todas as outras realizadas a tabuleiros) têm melhores resultados que os tabuleiros para fruta.

Nos tabuleiros para fruta, os de plástico têm picos em frequências mais altas que os de celulose. E que os tabuleiros de plástico para fruta expostos pela sup. inversa (TPF24-i) têm melhores coef. de absorção sonora que os tabuleiros de celulose para fruta (TF39) em praticamente todas as frequências.

Nas caixas (C) para ovos e fruta, as diferenças entre *abertas* e *fechadas* são significativas (Fig. 14). O pico para as caixas para 12 ovos abertas (excluindo C12A-a-n-ST que apesar de aberta

tem comportamento idêntico às caixas fechadas) são quase sempre inferiores e encontram-se em frequências mais agudas que as caixas para 12 ovos fechadas. Entre 160 a 630 Hz, C12A-f exposta pela superfície *normal* e *inversa* continua a ter melhores resultados, mas a partir dos 1 kHz é a C12A-f-i que tem quase sempre valores superiores.

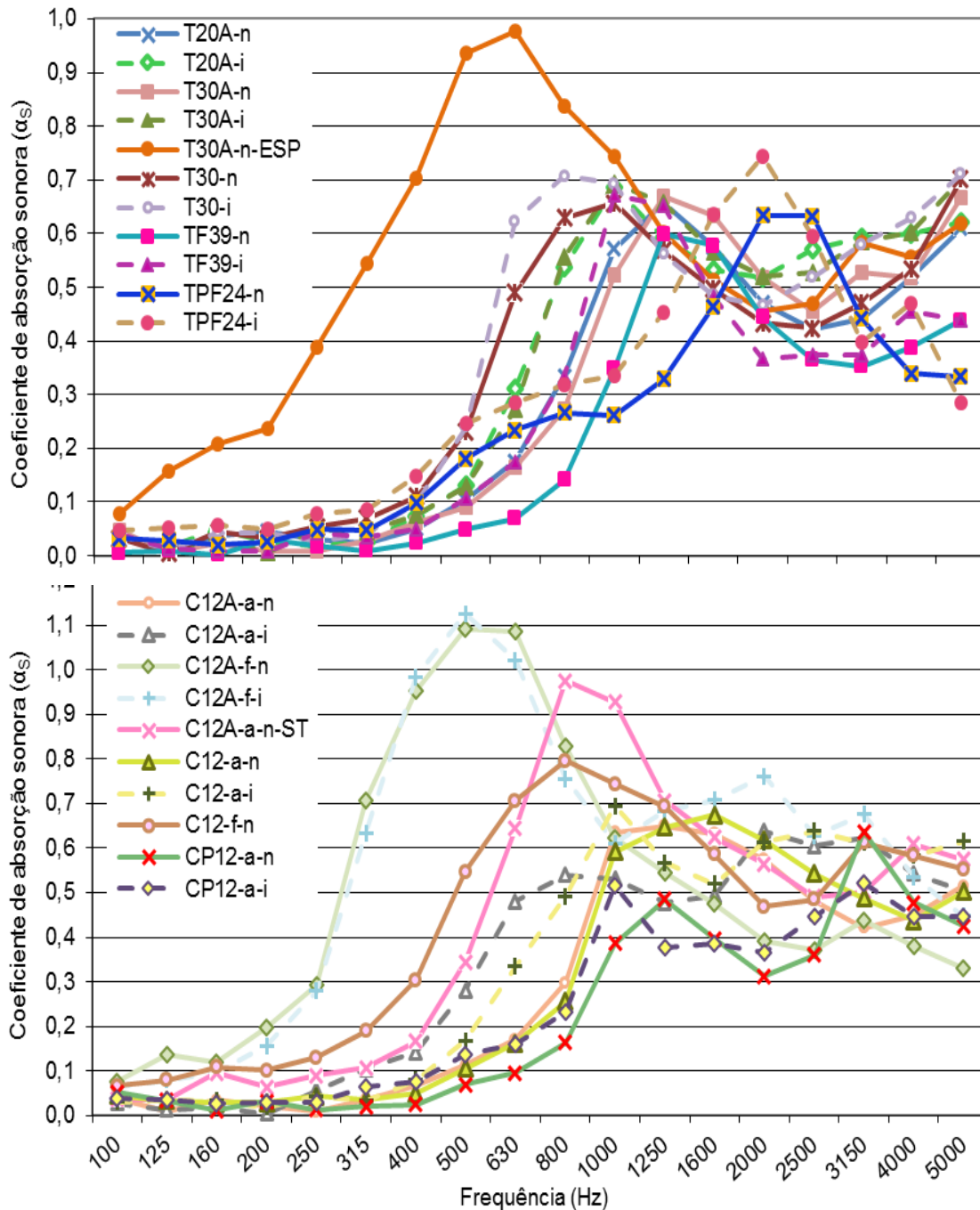


Fig. 14 – Coef. de absorção sonora (α_s) dos tabuleiros e caixas, para ovos e fruta (T-Tabuleiro, C-Caixa, A-com pequenas Aberturas, ESP-sobre espuma 30 mm, a-aberta, f-fechada, n-sup. normal, i-sup. inversa, ST-Sem Tampa, F-Fruta, P-Plástico).

Em relação às caixas abertas (excepto a C12A-a-n-ST que tem comportamento semelhante ao das caixas fechadas) os resultados são distintos em termos de evolução. Nenhuma das caixas se destaca positivamente mas a CP12-a destaca-se negativamente, porque em quase todas as

frequências tem valores inferiores. As caixas para 12 ovos de papel, abertas ou fechadas, são melhores que a caixa de plástico para 12 ovos aberta.

As amostras com maior coef. de absorção são as C12A-f, C12A-a-n-ST e T30A-n-ESP, sendo que a C12A-f-i é a que tem melhor desempenho apesar de na frequência de eficácia máxima o seu coeficiente de absorção sonora medido (α_S) ser teoricamente impossível de atingir no α (valor teórico físico) por ter valores superiores à unidade. As TF39-n e CP12-a-n são as que têm piores resultados em quase todas as frequências.

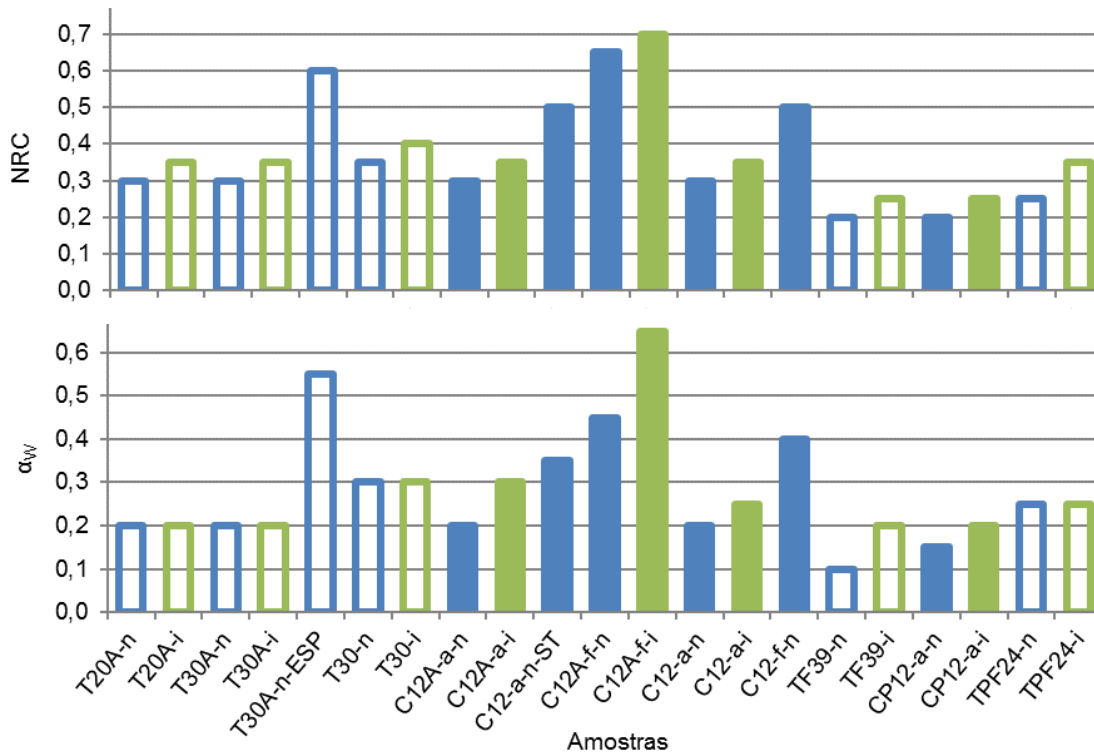


Fig. 15 – NRC e α_w de todas as amostras (T–Tabuleiro, C–Caixa, A–com peq. Aberturas, ESP–espuma, a–aberta, f–fechada, n–sup. normal, i–sup. inversa, ST–Sem Tampa, F–Fruta, P–Plástico).

Os valores dos índices NRC e α_w variam de 0,20 a 0,70 e de 0,10 a 0,65, respectivamente, sendo que os melhores resultados são da C12A-f-i e os piores da TF39-n (Fig. 15).

Principais conclusões (em cada tipo de situação comparável, linha a linha) quando comparadas todas as amostras:

- Tabuleiros sem aberturas (melhor) vs. Tabuleiros com aberturas (excl. T30A-n-ESP) (pior);
- Tabuleiros de papel para ovos (melhor) vs. Tabuleiros de papel para fruta (pior);
- Tabuleiros de plástico para fruta (melhor) vs. Tabuleiros de papel para fruta (pior);
- Amostra T30A-n-ESP (melhor) vs. Restantes amostras constituídas por tabuleiros e caixas para 12 ovos abertas (pior);
- Caixas para ovos *fechadas* (melhor) vs. Caixas para ovos *abertas* (pior);
- Caixas de papel para ovos *abertas/fechadas* (melhor) vs. Caixa de plástico para ovos (pior);
- Caixas para ovos fechadas (melhor) vs. Tabuleiros para ovos e para a fruta (pior);
- Tabuleiro de plástico para fruta (melhor) vs. Caixa de plástico para ovos (pior);
- Amostras expostas pela sup. *inversa* (melhor) vs. Amostras expostas pela sup. *normal* (pior);
- Amostra C12A-f-i (melhor) vs. Todas as outras amostras (pior).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Sónia C. P. Vieira. *Caracterização acústica de suportes alveolares de armazenamento e transporte de géneros alimentares*. Dissertação Mestrado Int. Eng^a Civil (MIEC), FEUP, 2014.
[2] NP EN ISO 354: 2007, Acústica. *Medição da absorção sonora em câmara reverberante*.