

Cyril Santos

**Técnicas de gravação e reprodução de áudio
tridimensional - História e perspectivas**

Orientador: Professor Doutor Luís Cláudio Ribeiro

Co-orientador: Branko Neskov

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias
Escola de Comunicação, Arquitectura, Artes e Tecnologias da Informação
Departamento de Cinema e Artes dos Media

Lisboa

2017

Cyril Santos

Técnicas de gravação e reprodução de áudio tridimensional - História e perspectivas

Dissertação defendida em prova publica na Universidade
Lusófona de Humanidades e Tecnologias no dia 22/01/2018
Perante o júri, nomeado pelo despacho de nomeação 463/2017
De 21 de dezembro de 2017 com a seguinte composição:

Presidente – Profs. Doutor Manuel José Damásio
Arguente – Profs. Doutor João Manuel Carrilho
Orientador – Profs. Doutor Luis claudio Ribeiro
Vogal – Profs, doutora Adriana Sá

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias
Escola de Comunicação, Arquitectura, Artes e Tecnologias da Informação
Departamento de Cinema e Artes dos Media
Lisboa
2017

Biografia

Cyril Santos nasceu a 19 de julho de 1989, em França.

Em 1995 veio viver para Portugal com os pais, em S. Mamede, Batalha. A sua ambição e curiosidade em fazer som para bandas, levaram-no, em 2006, rumo a Lisboa, em busca do seu sonho. Nesse mesmo ano frequentou um curso profissional de audiovisuais na Escola Profissional de Artes Tecnologias e Desporto.

Em 2009 entrou para a licenciatura em Cinema, Vídeo e Comunicação Multimédia, da Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, em Lisboa. Foi durante a licenciatura que foi crescendo a sua curiosidade pelo som para cinema e publicidade, destacando-se rapidamente nesta área.

Em 2014 ingressou no 2º ciclo de Estudos Cinematográficos, da Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, em Lisboa. No mesmo ano criou a sua própria biblioteca de áudio.

Em simultâneo com a licenciatura iniciou a sua atividade profissional como freelancer, trabalhando com marcas de referência no mercado nacional e internacional, como a Lamborghini, Vodafone, Kronenburg, Umbro, Volkswagen, Renault, BMW, Ford, Fiat, Cass, Sagres, Balentines, Mediolanum, Galp, Fifa, MacDonald, Heiniken, Alfa Romeo, Rivella Nederland, Facebook, Dji, Branko Neskov, Edinho Saed, Academy films, Bigfish, Ag Films, BRO, Story we Produce, Alibi Films, Take it easy, Garage, SouthWest, Twenty-Four Seven.

A sua atividade de investigação académica tem sido paralela às suas atividades artísticas como operador áudio. Aproveita todos os seus tempos livres para gravar em estúdio ou exteriores, com o principal objectivo de aprimorar, explicar e desenvolver as suas capacidades profissionais. A sua determinação aliada ao desejo de construção, determinam a sua jornada diária – destacar-se no mercado, como um profissional pautado pelas suas competências e energia singulares.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer particularmente aos meus pais por todo o apoio do mundo.

Agradecer e reconhecer o apoio que recebi por parte do Ivan Neskov, Marcos Herlander, Mariana Caldas, Bruno Lopes, Rafael Matos, Rui Carvalho, Margarida Silva, Verónica Almeida e Inês Santa.

Um enorme e especial agradecimento ao Luís Santos que me acompanhou durante todo o processo desta dissertação, onde a palavra desistir estava fora de questão.

Agradecer à FilmeBase/Cinesonics e Loudness Films por todo apoio que necessitei para fazer os meus testes para esta dissertação.

Agradecer à Magnelusa na pessoa de Paulo Lourenço pelo apoio técnico.

Agradecer aos meus orientadores Branko Neskov e professor Luís Cláudio Ribeiro pela ajuda, orientação, conhecimentos, tempo e paciência que partilharam comigo.

Também agradeço o apoio que sempre tive por parte da Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, em especial do professor Manuel José Damásio.

Resumo

Esta dissertação procura compreender as formas e evoluções da captação e reprodução de som desde o início do século XX. Neste percurso são importantes as práticas e usos da tecnologia que alteraram as formas de gravação e escuta em diferentes aspectos mediáticos.

O tema escolhido, o surround, permitiu analisar as técnicas e motivos para uma evolução substancial na captação, edição e reprodução.

Que motivos levaram à sua evolução? É curioso perceber que ainda antes da existência de som em sala, já existia alguém que teorizava como deveria ser esta distribuição. Ainda mais curioso é constatar que ao fim de todos estes anos de evolução teórica e tecnológica não constatamos grandes revoluções, grandes saltos tecnológicos, apercebemo-nos sim que esta construção assenta em pequenas e constantes evoluções, apanhando pelo caminho tecnologia e teorizações singulares.

É com estas questões e respostas que nasce esta dissertação, começando pela origem do som estereofónico, até ao uso da tecnologia para sistemas de realidade virtual (VR).

Abstract

This study looks to understand the ways and evolutions in the recording and sound playback since the beginning of the XX Century. In this way it's important the uses and practices of the technology that changed the capture, edition and playback across different media.

What lead to this evolution? It's curious to know, to understand that before the existence of playback, there was someone who already studied how that could be achieved. Even more curious to see that at this point, with all the theoretical and technological evolution never have been big revolutions, big technological breakthroughs, we see small but continuous steps, collecting in the process singular technologies and studies.

It is with these questions, with these answers that this thesis is all about, starting with the very beginning of stereophonic sound, until the new born sound technologies for VR systems.

Índice

Introdução.....	12
1.1 O Desenvolvimento do <i>stereo</i>	15
1.2 Binaural mais <i>stereo</i> Transaural	17
1.2.1 <i>stereo</i> Transaural.....	22
1.3 Surround.....	25
1.3.1 Blumlein.....	26
1.3.2 Sistemas Quadrifônicos (<i>Quad</i>)	28
1.3.3 Ambisonics	29
1.3.3.1 HOA- High Order Ambisonics (Ambisonics de Ordem Superior)	36
1.3.3.2 Descodificadores Ambisonic	38
1.4 ITU System	40
1.5 Localização Auditiva.....	42
1.6 Obstáculos na aceitação Ambisonics	43
2. <i>Surround</i> em transição.....	44
2.1 Princípios de Gravação em altura.....	44
2.2 Reprodução em Altifalantes	49
2.3 A psicoacústica e o multicanal	50
2.4 Reflexão e <i>reverb</i>	51
2.5 Ruído de fundo difuso	53
2.6 3D audio para Auro 3D	53
2.7 Fontes superiores.....	54
2.8 Reflexões e som difuso.....	55
2.9 Gravar para Auro 3D	55
2.10 Separação dos canais.....	56
2.11 Design de um microfone principal para Auro 3D.....	58
3. Dolby Atmos.....	59
3.1 Introdução Cinema Digital	59
3.2 Visão geral Dolby Atmos	61
3.3 Intenção criativa	65
3.4 Optimização durante o rendering	66
3.5 Dolby Atmos no estúdio	67
3.6 Música em Dolby Atmos	68

3.7 Masterização	69
3.8 Considerações Sala de Cinema.....	70
3.8.1 Altifalantes Centrais.....	71
3.8.2 Altifalantes <i>Surround</i>.....	72
3.8.3 Altifalantes de Transição <i>surround</i>	72
3.8.4 Altifalantes superiores.....	73
4. Desenvolvimento e aplicações de técnicas de gravação multicanal <i>stereo</i> para 3D Áudio e VR	73
4.1 Ambisonics de primeira ordem para 3D Audio	74
4.2 Critérios para Arrays stereo	75
4.3 Método de gravação ORTF 3D	76
4.4 Conversão para Dolby Atmos e Auro 3D	77
4.5 Conversão para VR.....	78
5. Conclusões	79
6. Glossário.....	83
7. Bibliografia.....	94
8. Webgrafia.....	96
9. Anexos	97

Índice de Figuras

Figura 1 - Clement-Ader Theatrophone 1881 ; “ A brief History of Audio : Spatial Sound” by Kaan Shenhuy	15
Figura 2 - Modelos de Cabeça Humana, Neumann Esquerda ; AKG Direita -“ Binaural Recording; Scott Robbin”	17
Figura 3 - Orelha - 1 pina, 2 lóbulo , 3 canal auditivo, 4- tímpano, 5- Tuba auditiva, 6- cóclea, 7- nervo auditivo, 8 - bigorna, 9 canais semicirculares, 10- Bigorna, 11- Martelo, 12 ossos da cabeça.....	18
Figura 4 - Gravação Binaural e escuta por auscultadores “Recording Music On Location – Cooper and Bauc”	19
Figura 5 - Roland CS -10 EM “Roland.com”	19
Figura 6 - Microfone de esfera Gunther Theile.....	20
Figura 7 - Acústica Interaural; crosstalk em audição Stereo.....	22
Figura 8 - Cancelamento de Crosstalk.....	23
Figura 9 - Cancelamento crosstalk em relação ao ouvinte.....	23
Figura 10 – Processador Bifonico JVC BN -5 “hifiengine.com/manual jvc”	24
Figura 11 - Operadores de maquinas de gravação em formato óptico, durante a gravação da banda sonora para o filme Fantasia – “wikipedia Fantasound”	25
Figura 12 - Blumlein Stereo; dois microfones figura de oito cruzados – “ wikipedia Blumlein Pair”	27
Figura 13 - Esquema sistema Quad – “Ed’ AV Handbook.com”	28
Figura 14 - Geometria de um microfone tetraédrico – “ A Tetrahedral Microphone processor for Ambisonic Recording”	30
Figura 15 - Orientação dos microfones B- Format – “TVTechnology.com/Ambisonics”	30
Figura 16 - Microfone tetraédrico ST 250 - “ A Tetrahedral Microphone processor for Ambisonic Recording”	31
Figura 17 - Primeira Ordem Ambisonics	32
Figura 18 – O caminho teórico de B-Formato para as várias variantes / UHJ mono compatível com Stereo. “wikipedia-ambisonics/UHJ”	33

Figura 19 – Esquema hierárquico da codificação <i>surround</i> . “Ambisonics: The surround Alternative by Richard Elen”	33
Figura 20 – Sistema de masterização Ambisonics. De cima para baixo, o B-Format Converter, o UHJ Transcoder, o Ambisonic Decoder, e a unidade Pan-Rotate.c”Wikipedia/Ambisonic_Hardware”	35
Figura 21 – Cinco Harmónicas esféricas de Segunda Ordem	37
Figura 22 – Sete Harmónicas esféricas de Terceira Ordem.....	37
Figura 23 – cinco layouts de altifalantes para uso domestico “Ambisonics.info”	40
Figura 24 – Sistema Básico Auro 3D, reto-compatível com ITU – R BS. 775 – 1 “Wittek 3D ISCA public”	47
Figura 25 – Influencia dos atributos sobre a impressão sonora no tempo.....	51
Figura 26 – Diferenças no <i>delay</i> ocorrentes em posições de audição para além do <i>Sweet Spot</i> “Wittel surround_2013 public”	54
Figura 27 – Distribuição espacial dos padrões de reflexão nos sistemas 2.0, 5.1 3 Auro 3D “AES 130 Theile Wittek”	55
Figura 28 – Reprodução das direções do evento original exige uma separação estrita da separação de canais durante o processo de gravação “AES 130 Theile Wittek”	56
Figura 29 – Padrões de reflexão dentro do <i>sweet spot</i> de um <i>array</i> de altifalantes Auro 3D, gerado através da utilização de dois <i>arrays</i> de microfones diferentes. Os <i>arrays</i> gravam a mesma fonte numa sala adequada. “AES 130 Theile Wittek”	57
Figura 30 – Sistema Dolby <i>surround 7.1</i> “Dolby.com”	60
Figura 31 – Imagem da esquerda: Sistemas multicanal. Imagem da Direita: possibilidades do sistema Dolby Atmos “Dolby.com”	64
Figura 32 – Esquema de render Dolby Atmos “Dolby.com”	66
Figura 33 – Configuração de sala de cinema com sistema Dolby Atmos “Dolby.com”	70
Figura 34 – <i>Layout</i> de altifalantes centrais Dolby Atmos “Dolby.com”	71
Figura 35 – <i>Layout</i> de altifalantes centrais Dolby Atmos “Dolby.com”	72

Figura 36 – Schoeps ORTF *surround* – Schoeps.com.....76

Figura 37 – Schoeps ORTF 3D - Schoeps.com.....77

Índice de Tabelas

Tabela 1 – comparação de perfis dos formatos *stereo / surround* (*arrays horizontais ** emulação da impressão de profundidade / espacialidade *** instável; apenas no *sweet spot*.....48

Tabela 2 – Interrelação entre qualidades sonoras e os géneros de campos de som.....50

Índice de Organogramas

Organograma 1 – Esquema de Render Dolby Atmos “Dolby.com”66

Organograma 2 – Workflow Dolby Atmos “Dolby.com”67

Organograma 3 – Processos em estudo desde a montagem até á copia fina em sistema Dolby Atmos “Dolby.com”69

Introdução

De todas as características do som aquelas que são imediatamente perceptíveis são a sua proveniência e a distribuição espacial.

No que diz respeito à música, quando estamos num concerto acústico, conseguimos muitas vezes determinar as várias posições dos instrumentos, isto pode tornar o concerto mais agradável ao ouvinte. Além disto, e em alguns estilos de concerto, *live act*, instalação, entre outras áreas artísticas, a distribuição espacial das fontes sonoras, pode ser considerado um elemento artístico.

O ouvinte não só ouve o som direto dos instrumentos, como também o que é refletido (acústica individual da sala) ou outros objetos em torno do ambiente de audição. O som refletido pode ser percebido como ecos discretos ou como reverberação, normalmente não são conscientemente apercebidos, a não ser que o ambiente sonoro seja muito mau, no entanto, transmitem informação sobre o ambiente, o espaço e a localização dos instrumentos.

Existe uma relação complicada mas específica entre a posição da fonte sonora e o som reverberante, a reverberação auxilia na localização dos instrumentos, como também contribui para o sentido do espaço e envolvimento do som experimentado pelo ouvinte.

É desejável que um sistema de gravação e reprodução de som seja capaz de captar e recriar a informação espacial, a identidade individual do espaço onde orquestra tocou, incluindo o som direto e o reverberante, com a maior precisão possível. O que se procura é não só dar a ouvir a música mas também o espaço, colocando o ouvinte no espaço original, no caso de ser uma gravação ao vivo.

Embora seja comum discutir o elemento espacial do som reproduzido com referência à música, devemos-nos lembrar que as posições, movimentos das fontes sonoras e o ambiente são talvez mais importantes noutros contextos, que não estejam associados a um ambiente musical, por exemplo, o som para cinema, jogos, e um nicho de mercado como o das bibliotecas de áudio. Nos dias que correm, a correta reprodução espacial é absolutamente essencial em aplicações de realidade virtual e imersiva.

Os sistemas de som *stereo* e de som *surround* pretendem proporcionar a capacidade de gravar e reproduzir os aspectos espaciais do som. A maioria dos sistemas descritos como *stereo* geram um espaço sonoro limitado, cobrindo tipicamente uma distância angular de aproximadamente 60° em frente do ouvinte, enquanto que os sistemas de som *surround* destinam-se a estender este palco para que o ouvinte esteja completamente rodeado, constituindo-se num plano tridimensional.

Os sistemas de som envolvente em que o som reproduzido está confinado ao plano horizontal denomina-se de *Pantophonic*, enquanto que os sistemas que incluem também informação de altura proporcionam uma reprodução tridimensional, são chamados de *Periphonic*.

Existe uma tendência para descrever o *stereo* como um sistema de dois canais e dois altifalantes. Na nossa opinião não é correto, expressões como *stereo de três canais* ou *multi-canal stereo*, são para mim bastante aceitáveis. Considera-se que o termo *multi-canal* indica que o sistema utiliza mais que dois canais de transmissão, se não chamaríamos apenas de *stereo*.

Nenhum sistema de reprodução de som que utilize apenas um reduzido número de altifalantes pode criar um campo de som idêntico ao do som direto e reverberante gerado por múltiplas fontes de som. O objectivo da tecnologia do som *surround* é que os altifalantes estejam o mais próximo do ambiente real, para criar a mais convincente das ilusões, isto é, a relação entre o campo sonoro físico e a sensação subjetiva de direccionalidade recebida pelo ouvinte.

No que diz respeito à gravação e reprodução, como performance ou ambientes para filmes, é claro que a informação espacial não pode ser reproduzida se não for gravada corretamente.

O microfone Ambisonics de primeira ordem (combinação de sinais, para derivar microfones virtuais com qualquer padrão polar de primeira ordem, omnidireccional, cardióide, hípercardióide) é conhecido por ser extremamente eficaz para captar as propriedades direccionais de um campo sonoro. Estes microfones provaram ter uma utilidade considerável para uma gravação *stereo* convencional, de dois canais, mas também podem ser usados para fazer gravações destinadas a sistemas de som *Surround*.

Os microfones de ordens superiores (maior numero de canais Ambisonics), têm a capacidade de captar uma maior quantidade de informação direcional. As primeiras análises para estes microfones aparecem nos finais da década de oitenta e inicio de noventa do século passado.

A visão geral da história e o estado da tecnologia *stereo* e *surround* demonstra uma tendência natural e constante para desenvolvimento de novos métodos e técnicas de captação e reprodução. Não assistimos a grandes momentos de revolução tecnológica, assistimos sim a uma série de pequenos passos que consumam a evolução.

1.1 O Desenvolvimento do *stereo*

No final do séc. XIX foram feitos estudos experimentais e teóricos sobre psicoacústica direcional, em particular por Lord Rayleigh, aka John Strutt [1842-1919]. Rayleigh foi capaz de estabelecer uma série de resultados significativos: determinou que em baixas frequências, a diferença de fase entre as formas de onda é o sinal primário para localizar uma fonte de som, enquanto que em frequências mais altas, onde a cabeça é suficientemente grande para a ocorrência do denominado *acoustic shadowing* (é uma área onde as ondas sonoras se empastelam, devido a obstruções topográficas - fenómenos como correntes de vento, edifícios ou barreiras de som, e/ou outras levando o som a perder a sua identidade), resultam numa diferença da intensidade interaural (diferença da intensidade da onda que chega a cada ouvido).

Esta teoria chamada de Duplex (proposta por Rayleigh, em 1907), fornece uma explicação para a capacidade dos seres humanos localizarem os sons através da diferença de intensidade interaural e a diferença de tempo interaural, continuando a ser o modelo mais básico e o mais importante da percepção direcional. Rayleigh também observou que as informações espaciais adicionais podem ser obtidas pelos movimentos da cabeça humana. Além disto, ele acrescenta que o “Pina”, também contribui para a localização modificando os espectros de som afectados pelo ouvido, dependendo da direção.

As primeiras demonstrações de um sistema de reprodução de som capaz de preservar as informações direcionais, foram feitas por Clément Ader [1841-1925] em Paris no ano de 1882: posicionou vários microfones ao longo do palco da *Grande Opera de Paris*, em que o sinal era dado a ouvir através de pares de auscultadores (sendo estes não mais de que dois auscultadores de telefone), aos ouvintes. Apesar desta experiência de



Figura 1 - Clement-Ader Theatrophone 1881 ; “ A brief History of Audio : Spatial Sound” by Kaan Shenhuy

Clément Ader, considerando-a um antepassado da tecnologia *stereo*, bem como o uso do binaural em dispositivos como o Gramophone, o Fonógrafo e o Theatrophone, usando diferentes auscultadores, antes da década de 1930 foram produzidos pouquíssimos estudos.

Nesta altura era bem conhecido que os sinais obtidos por dois microfones a uma distância semelhante à dos ouvidos, a sua escuta seria feita através de uma par de auscultadores, de modo a que cada ouvido funcionasse como *feed* de apenas um microfone.

No entanto, durante a década de 1920, tornou-se hábito usar altifalantes em vez de auscultadores para a reprodução de som. Esta é uma situação diferente, uma vez que o *feed* de cada altifalante é recebido por ambos os ouvidos. Qualquer sistema baseado em altifalantes deve ter em conta esta interferência interaural. Talvez o trabalho mais importante sobre a gravação e reprodução *Stereo* tenha sido feito por Alan Blumlein na EMI, durante a década de 1930, que vem a constituir a base dos sistemas *Stereo* como os conhecemos. Embora sendo possível tecnologicamente produzir equipamentos para reprodução *Stereo*, tal era economicamente inviável, quer para o mercado doméstico quer para o mercado profissional. Nas salas de cinema não existia um meio adequado de dois canais (ou multi-canal) para a distribuição da gravação. De facto apenas na década de 1950 é que os meios de distribuição e a respetiva indústria se tornaram viáveis.

Durante esta década, pensou-se que para haver uma melhoria significativa seria necessário a introdução de informações direcionais nos sistemas monofónicos, oferecendo maiores benefícios em troco de uma evolução tecnológica relativamente pequena ao nível da resposta de frequências, distorção ou relação sinal-ruído. Constata-se, por esta altura, a necessidade de tomar em consideração que o som já não é apenas um sinal que acompanha a imagem mas sim mais um elemento que ajuda a conduzir a história e a manipular a atenção do ouvinte/espectador.

Verificou-se que a reprodução em *stereo* de dois altifalantes de dois canais produzia resultados objectivamente perceptíveis, embora com certas limitações. A espacialidade percebida, não pode normalmente ser obtida se o ângulo

dos altifalantes na posição do ouvinte exceder aproximadamente os 60°. Uma separação angular maior, geralmente resulta num efeito de “buraco” no centro. O espaço de som reproduzido tende a falhar para o altifalante mais próximo do ouvinte, se este se mover ligeiramente da posição original relativamente à dos dois altifalantes.

1.2 Binaural mais *stereo* Transaural

A gravação Binaural é feita com diferentes modelos de cabeça humana, sendo a sua distribuição feita através de auscultadores. Este método consegue uma recriação com grande realismo dos espaços e dos intervenientes.

Poderemos eventualmente dizer que os métodos Binaural e *Stereo Transaural* são idênticos variando apenas a distribuição, sendo que o *Stereo Transaural*, ao invés do *Binaural* tem a sua distribuição feita através de dois altifalantes frontais.

A gravação *Binaural* começa com um modelo de cabeça humana. Este modelo tinha um par de microfones incorporado em cada ouvido, estes captavam o som que chegava a cada um deles. Aquando da distribuição através de auscultadores cada um dos nossos ouvidos ouve o sinal correspondente do ouvido do modelo.

A gravação *Binaural* funciona com as seguintes premissas: quando ouvimos uma fonte sonora natural, a nossa audição é apenas um par de sinais unidirecionais, ou seja, como se tivesse incorporado um microfone



Figura 2 - Modelos de Cabeça Humana, Neumann Esquerda ; AKG Direita - “ Binaural Recording; Scott Robbin”

em cada canal auditivo. Se pudéssemos recriar essas mesmas pressões no ouvinte, tal como elas ocorrem ao vivo poderíamos reproduzir a experiência

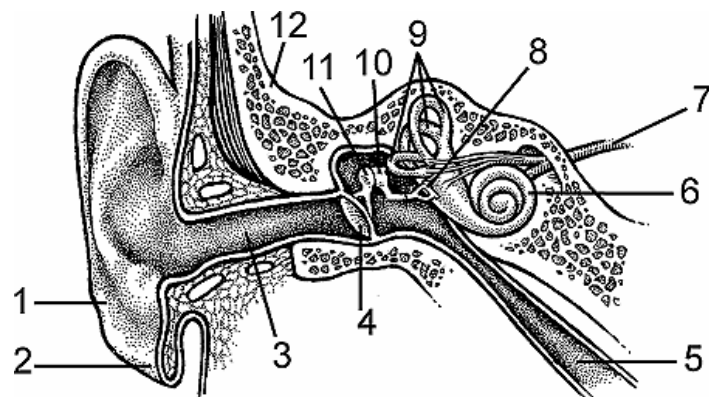
auditiva original, incluindo a direccionalidade e a reverberação no espaço da fonte sonora.

A gravação *Binaural* é o método mais preciso, mais exato de reproduzir a espacialidade de um sinal. A reprodução sonora é avassaladora, de tal forma que facilmente somos levados a acreditar que estamos perante a fonte original.

Como desvantagem, a cabeça artificial é demasiado evidente, o que limita o seu uso na gravação de concertos, não é compatível com gravações mono, e tem elevado custo.

O modelo de cabeça artificial tenta captar o som como se fosse uma cabeça humana. A arquitetura da cabeça cria por si obstáculos às ondas sonoras de médias e altas frequências. No lado da cabeça mais distante da fonte sonora o ouvido fica na sombra: a cabeça bloqueia as altas frequências, em contraste, o lado da cabeça virado para a fonte sonora existe um crescer de pressão (um aumento na resposta de frequências), nas médias e altas frequências.

A arquitetura do ouvido externo (orelha) também afecta a resposta às frequências através da reflexão de sons para o canal auditivo. Estas reflexões combinadas com o som direto provocam cancelamentos de fase em certas frequências. O ouvido interno está dentro



do canal auditivo sendo este um canal de ressonância e propagação. A ressonância do canal

auditivo não se altera com a direção da fonte sonora,

Figura 3 – Orelha - 1 pina, 2 lóbulo , 3 canal auditivo, 4- tímpano, 5- Tuba auditiva, 6- cóclea, 7- nervo auditivo, 8 - bigorna, 9 canais semicirculares, 10- Bigorna, 11- Martelo, 12 ossos da cabeça.

não fornecendo portanto

qualquer pista acerca da localização, razão pela qual é omitido nos modelos da cabeça artificial. Normalmente, o diafragma do microfone é montado perto da superfície facial, cerca de quatro milímetros dentro do canal auditivo.

Simplificando, a cabeça e ouvido externo provocam picos e declives acentuados na resposta às frequências do som recebido. Estes variam com a incidência do ângulo de som, ou seja, a sua localização à resposta das frequências de uma cabeça artificial é diferente consoante as direções. A cabeça e o ouvido agem como um equalizador.

Cada ouvido ouve um espectro diferente da amplitude e fase, devido à arquitetura da cabeça e dos ouvidos sabemos que uma delas iria estar na sombra. Estas diferenças interaurais variam com a localização da fonte em torno da cabeça (*acoustic shadowing*).

Quando os sinais provenientes dos microfones da cabeça modelo são reproduzidos nos auscultadores, nós ouvimos as mesmas frequências interaurais que a cabeça modelo captou, criando ilusão de imagens localizadas onde os sons originais estavam.

Fisicamente, o modelo de cabeça é um *array* muito semelhante, usando microfones muito perto da superfície: sendo a cabeça a superfície e os microfones montados perto desta superfície, a cabeça e os ouvidos criam padrões direcionais que variam consoante as frequências. O modelo de cabeça faz um espaçamento de microfones de mais ou menos 16,5 cm.

Alguns modelos de cabeça podem incluir os ombros ou o torso, que podem auxiliar a localização frontal e traseira da audição humana.

O modelo de cabeça deve ser tão sólido quanto a cabeça humana, de forma a atenuar o som que passa por ela. Por exemplo, a cabeça de Achen é feita em fibra de vidro.

O modelo de cabeça artificial pode ser substituído pela nossa própria cabeça colocando microfones de condensador miniaturas ou

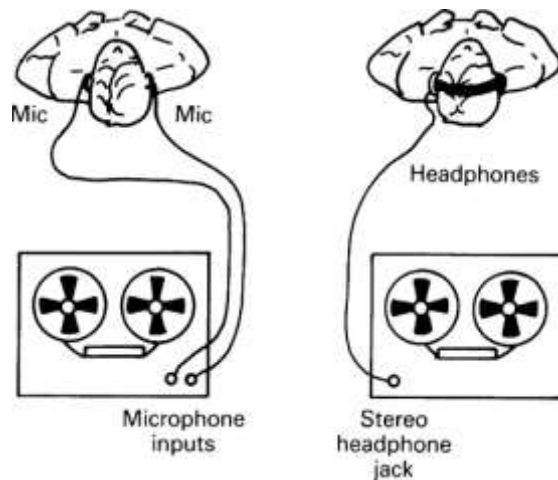


Figura 4 - Gravação Binaural e escuta por auscultadores "Recording Music On Location – Cooper and Bauc"



Figura 5- Roland CS -10 EM "Roland.com"

sistemas como o Roland CS – 10 EM, nos nossos próprias ouvidos.

Quanto mais o modelo de cabeça se parecer com a nossa, melhor será a reprodução de som gravado. Assim, se fizermos uma gravação binaural com a nossa própria cabeça iremos experienciar uma imagem mais precisa do que a que é gravada com a cabeça modelo. Esta gravação terá uma resposta “não plana” devido à difração da cabeça.

Outro substituto para o modelo de cabeça é uma esfera com o tamanho aproximado da cabeça humana e com microfones montados à superfície onde estariam os ouvidos. Este sistema chamado de *Kugelflächenmikrofon* (microfone de esfera Gunther Theile), foi desenvolvido por Gunter Theile, para melhorar a imagem nos altifalantes.

O modelo de cabeça artificial (ou mesmo cabeça humana) tem uma resposta às frequências “não plana”, isto deve-se à difração provocada pela própria cabeça. A difração provocada pela cabeça e pela “pina”



Figura 6 - Microfone de esfera Gunther Theile

provoca uma resposta de frequências muito abrupta, geralmente com grande pico em torno dos 3 KHz em sons frontais. Portanto, as gravações Binaurais possuem tonalidades devido a este pico para a correção teríamos de usar alguma forma de equalização. Alguns modelos artificiais de cabeça possuem até uma equalização já incorporada para compensar estas tonalidades. Os diferentes esquemas de equalização propostos são:

Diffuse – Field Equalization: esta equalização compensa a resposta média da cabeça a sons provenientes de todas as direções. Imaginemos a reverberação de uma sala de espetáculos.

Frontal Free Field Equalization: esta equalização foi pensada para compensar sons frontais, cameras anecóicas.

10º Averaged Free Field Equalization: esta equalização compensa a resposta frontal da cabeça a fontes sonoras em ambientes anecóicos, com desvios acima, a mais ou menos 10º do centro.

Free – Field with Source at +/- 30º equalization: esta equalização compensa a resposta frontal da cabeça a fontes sonoras em ambientes anecóicos, uma localização típica na posição dos altifalantes *stereo*.

Existem vários modelos de captação Binaural, a escolha do sistema a usar depende muito da estética auditiva do agente, ou até mesmo do equipamento.

Como é que as gravações Binaurais soam quando são reproduzidas em altifalantes?

Segundo Griesinger no artigo “*Griesinger, David, (1989): pag 20-29*”, pode soar tão bem como uma gravação *stereo* comum, com uma superior reprodução da localização, altura, profundidade e ambiente da sala mas parece ainda melhor quando ouvido em auscultadores. As gravações com som Binaural são principalmente frontais quando são reproduzidas através de altifalantes, sendo totalmente envolventes quando reproduzidas via auscultadores. Segundo os estudos de “*Genuite, Klaus, Bray (1989)*”, os auscultadores apresentam sempre menos reverberação devido ao fenómeno denominado “*Binaural reverberance suppression*”. Por esta razão é importante monitorizar a gravação, quer através de auscultadores quer através de altifalantes.

Griesinger faz notar nos seus estudos que o posicionamento da cabeça modelo deverá ser relativamente perto da fonte sonora para manter nos altifalantes uma relação equilibrada entre o som direto e som reverberante. Este posicionamento faz exagerar a separação *Stereo* criando a zona “sombra” no centro. No entanto, este centro pode tornar-se mais sólido através de uma equalização adequada.

1.2.1 *stereo* Transaural

Num mundo perfeito poderíamos obter a experiência do som binaural através de um sistema de altifalantes, e não obrigatoriamente através de auscultadores. Uma vez que temos apenas um par de ouvidos poderíamos assumir que precisaríamos de um par de altifalantes para obter o efeito *surround*. O que é curioso é que num mundo cheio de padrões e sistemas cada vez mais especificados e por vezes desafiadores da própria sanidade, tal é possível e chama-se *stereo Transaural*.

O que este sistema faz é a conversão dos sinais binaurais captados pela cabeça modelo em sinais “*surround*”, reproduzidos por dois altifalantes. Se for feito de maneira correta podemos ouvir os sons provenientes de qualquer direção com apenas dois altifalantes frontais.

Em oposição à escuta feita através de auscultadores a escuta através de altifalantes possui características próprias, tal como o *crosstalk* em torno da cabeça ou seja o

ouvido direito ouve não só o som vindo do altifalante direito mas também o som proveniente do altifalante esquerdo, figura - 7.

Para obter esta espacialidade a partir de apenas um par de altifalantes os conversores transaurais vão trabalhar de forma a cancelar os sinais produzidos pelo altifalante esquerdo que chegam eventualmente ao ouvido direito e vice versa. Exatamente como se ouviria nos auscultadores. Esta capacidade de poder cancelar os sinais é o núcleo fundamental da tecnologia Transaural, podendo ser trabalhada antes ou depois da gravação.

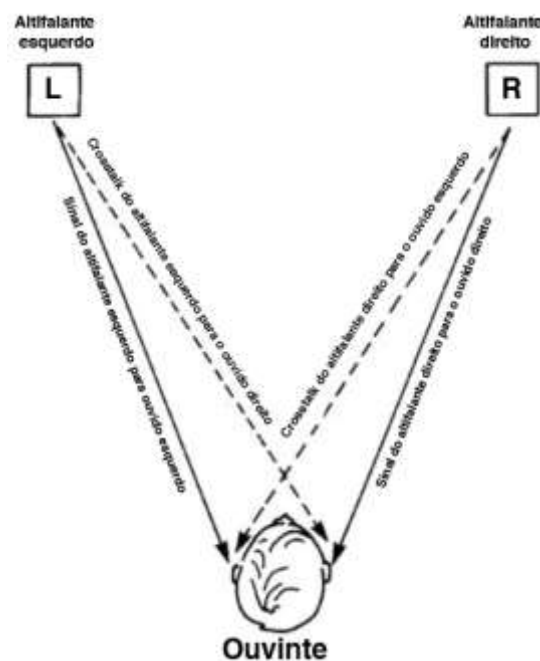


Figura 7 - Acústica Interaural; crosstalk em audição Stereo

De forma simplista tal como podemos ver na figura - 8, o sinal transaural é equalizado, é enviado para o canal oposto um sinal com *delay* e com polaridade invertida. A isto chama-se *crosstalk electronic*, este tem como função o cancelamento do *crosstalk* acústico típico na audição de um par de altifalantes.

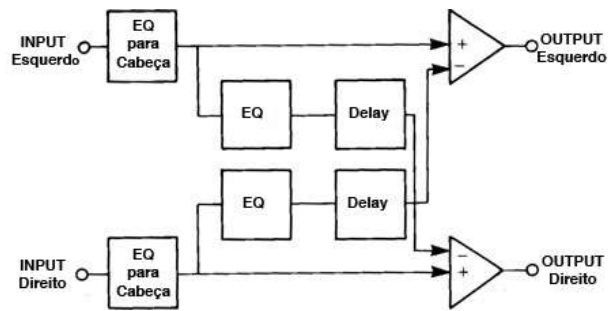


Figura 8 - Cancelamento de Crosstalk

Devido à difração de som provocada pela cabeça o *Anticrosstalk equalization*, provoca uma diferença na resposta às frequências. O *delay* é a diferença de tempo de chegada do sinal aos ouvidos. A equalização e o *delay* estão condicionados pelo ângulo formado pelos altifalantes em relação ao seu centro, geralmente à volta dos 30º.

Na figura - 9 percebemos o cancelamento de *crosstalk*. Imaginemos que queremos que o sinal esquerdo seja audível apenas pelo ouvido esquerdo, para tal o sistema cancelará todos os sons que poderiam ser ouvidos pelo ouvido direito.

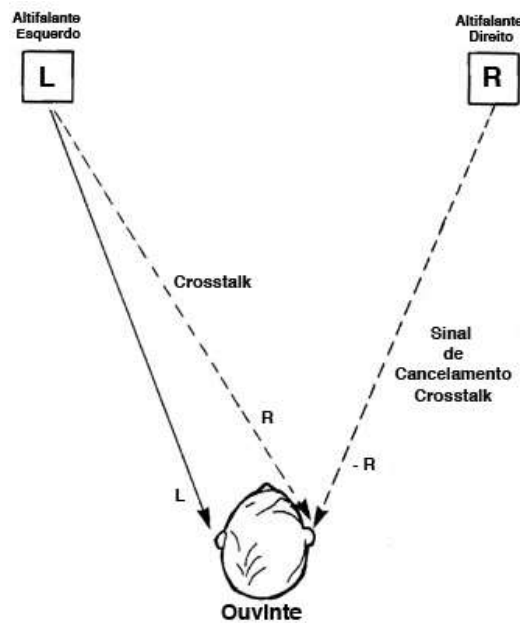


Figura 9 - Cancelamento crosstalk em relação ao ouvinte

. L – é o sinal direto do altifalante esquerdo dirigido ao ouvido esquerdo.

. R – é o sinal difractado pela cabeça com origem no altifalante esquerdo, para o ouvido direito.

. -R - é o sinal de cancelamento de *crosstalk*. Sendo este uma versão do sinal L já equalizado, com delay e com polaridade invertida.

Os sinais R e - R são o cancelamento ao sinal do ouvido direito, de forma a que o sinal L seja audível apenas pelo ouvido esquerdo.

Em 1961 Bauer foi o pioneiro na idealização deste sistema. Em 1962 Schroeder e Atal concretizaram as primeiras experiências com *stereo Transaural*, fazendo uso de um computador para equalizar e cruzar os dois canais binaurais e fazendo passar o som para dois altifalantes numa camera anecóica.

Através de um programa, o computador simulava uma série de filtros. Se o ouvinte se deslocasse para além do *Sweet Spot* (é o termo usado para descrever o ponto focal entre dois ou mais altifalantes, onde o ouvinte é totalmente capaz de ouvir a mistura da forma como foi concebida pelo misturador), perdia-se todo o efeito. Mesmo assim Schroeder e Atal afirmaram que o efeito de *surround* era qualquer coisa de espantoso (Schroeder and Atal, 1963 “ *computer simulation of sound transmission in rooms pp 150-155*).

Em meados da década de 1970 a empresa JVC desenvolveu alguns protótipos de um processador bifónico que produzia efeitos semelhantes,



chegando mesmo a investigar um sistema de quatro canais o *Q - Biphonic* (patente US 3 991 374). Em finais dos anos 70 a Matsushita desenvolve um sistema de controlo de localização de som com *joystick* para controlo da panorâmica do som surround, (patente US 4 219 696 A).

Figura 10 - Processador Bifonico JVC BN-5
“hifiengine.com/manual_jvc”

Como os sistemas clássicos *stereo* não permitem localização frontal para além dos 180º, então estes desenvolvimentos tecnológicos como os sistemas binaurais, permitiram uma localização na parte de trás do ouvinte acrescentando uma maior dimensão na experiencia auditiva. Também a tecnologia da Matsushita não foi esquecida, pois os primeiros testes do sistema Dolby Atmos apresentavam também um *joystick* para controlo de panorâmicas.

1.3 Surround

Com a evolução da tecnologia, pensamos que os sistemas *surround* são desenvolvimentos relativamente recentes, tal não corresponde à verdade, seja por ignorância ou por outra razão, a verdade é que a primeira versão de *surround*, era um mero *stereo*, estreou-se no período da Segunda Guerra Mundial, e tendo posteriormente evoluído para os sistemas de som *surround* dos *Home theater* de hoje. Procurava-se uma maneira de imergir o público que vê os filmes em casa.

No início da década de 40, quando a Walt Disney tinha a produção do filme “Fantasia”, seguindo a sugestão de Leopold Stokowski, compositor da banda sonora, decide criar uma ilusão de *surround* na cena do voo do zangão, Stokowski já tinha experiência de gravar com vários microfones. Entre 1931 e 1932 conduziu a orquestra de Filadélfia nos estúdios da Bell Telephone Laboratories, mais tarde Bell Labs.

A Disney não ignora a proposta e reúne-se com os seus engenheiros para trabalhar na proposta de Stokowski. Este trabalho é liderado por Wiliam Garity e John N. Hawkins assistidos pelos cientistas da Bell Labs, que anteriormente estavam a trabalhar na tecnologia *stereo*. Podemos dizer que o filme “Fantasia” é o primeiro a integrar o som *surround*, num sistema próprio denominado *Fantasound*. Desta forma criam um campo de som *surround*, frente esquerdo, frente central, frente direito, traseiro esquerdo e traseiro direito, estes canais certos. A banda sonora principal apenas era ouvida na frente, os canais traseiros eram gravados numa película separada.



O método usado era de gravação óptica. Foram gravados oito rolos , que representam pistas separadas sincronizadas em que a oitava pista representa o *playback*.

A relação sinal/ruído era, mais ou menos, 40db máximo para o sinal óptico e para melhorar este ou ultrapassar, o nível de reprodução estava controlado automaticamente, diminuindo o volume nas passagens mais baixas, criando assim um sistema primitivo de redução de ruído.

O custo do sistema *Fantasound* era bastante elevado, e poucas salas o instalaram. A Disney tinha ainda uma solução que podia ser instalada onde o filme ia ser projetado, como em cinemas e teatros, mas a quantidade de equipamentos necessários era bastante elevada e não havia muitos teatros a fechar para que estes sistemas fossem instalados, acabando por haver um corte na projeção original, passando para uma versão de oitenta minutos e também eliminando o som multicanal. Porém, muito do trabalho na criação do *Fantasound* não foi em vão, pois os conceitos e técnicas ajudaram a desenvolver vários projetos que marcaram a tecnologia e os conceitos de hoje em dia.

1.3.1 Blumlein

A partir de 1931, Alan Blumlein procurava soluções sonoras que permitissem ao som acompanhar a dinâmica da imagem – quando o ator fala do lado esquerdo o som deve vir desse mesmo lado e não de ambos os lados ou de um lado desviado do rosto. A pesquisa de Blumlein consiste exatamente nisto: a procura de uma espacialidade, dando dimensão sonora aos filmes quando projetados. As suas primeiras notas sobre este assunto são de setembro de 1931, a patente tinha o nome *Improvements In and Relating to Sound-transmission, Sound Recording and Sound Reproducing Systems*. O pedido de patente foi feito a 14 de Dezembro de 1931, tendo sido aceite a 14 de junho de 1933 (394325UK). Esta patente cobre muitas das ideias de *Stereo*, algumas ainda hoje se mantêm perfeitamente atuais. Blumlein faz apelo a algumas ideias desenvolvidas mais tarde para o sistema *Fantasound*.

Partindo da tecnologia *stereo*, Alan Blumlein, sem alterar a tecnologia de distribuição do sinal *stereo*, vai dar-lhe uma utilização diferente. Mantendo os dois altifalantes e as duas pistas disponíveis, Blumlein vai trabalhar na captação, isto é, no conceito de gravação com o uso apropriado de microfones.

Para criar uma imagem *stereo*, sem diferenças temporais, os dois microfones devem ser colocados o mais próximo possível, daí muitas vezes ouvirmos o termo “*stereo coincidente*”.

O normal é colocar uma cápsula do microfone imediatamente acima da outra, de modo a que estas sejam coincidentes no plano horizontal. Esta é a dimensão a partir da qual procuramos recriar as posições da imagem. As diferenças de amplitude entre os dois canais são criadas através dos próprios padrões polares dos microfones utilizados, tornando-os mais ou menos sensíveis a sons vindos de diferentes direções, solucionando assim algumas das deficiências inerentes nos sistemas de microfones espaçados (informação de tempo e espaço) que, entretanto, se estavam a desenvolver nos Estados Unidos, pela Bell Laboratories, sobre a direção de Harvey Fletcher.

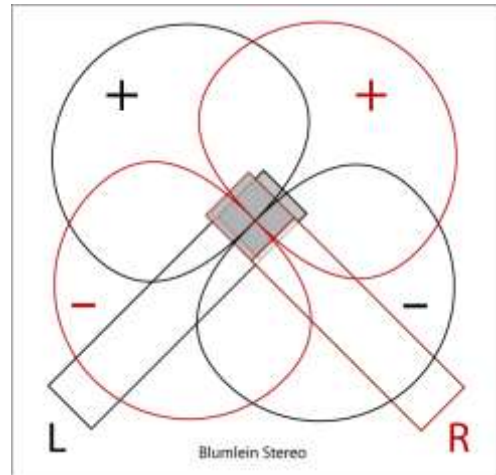


Figura 12- Blumlein Stereo; dois microfones figura de oito cruzados – “wikipedia Blumlein Pair”

Apesar dos quase noventa anos desta tecnologia, o “par Blumlein” que atrás descrevemos ainda traz vantagens significativas em relação aos sistemas de microfones espaçados que, normalmente, acarretam problemas de fase. A técnica de Blumlein não apresenta estes problemas, devido à colocação coincidente dos dois microfones.

Na altura, a principal preocupação das gravações *stereo* era a sua conversão em sinal mono, devido ao facto da distribuição ser feita sobretudo em sinal mono (salas de cinema, rádio e mais tarde, a televisão equipadas com mono). Um dos princípios do sistema Blumlein é a compatibilidade, quando se reduz uma imagem *stereo* a mono, é importante não perder informação. Este sistema usa microfones coincidentes, focando-os num ponto específico.

1.3.2 Sistemas Quadrifônicos (*Quad*)

Na década de 1970 foram feitas várias tentativas para transformar o *stereo* numa terceira dimensão (altura x largura x profundidade) da imagem acrescentando profundidade às já existentes altura e largura da imagem projetada. A maioria das abordagens adicionava ao par altifalantes de frente, um segundo par de altifalantes na parte traseira. Este sistema era denominado como “Quadraphony ou Quad”.

Idealmente uma gravação seria misturada com quatro canais, sendo estes separados para os quatro altifalantes, sendo apelidado pelos engenheiros como distribuição de *Discreet Quad*.

Infelizmente na década em questão havia poucos suportes compatíveis, a não ser a fita magnética, que estranhamente não foi muito utilizada para o sistema Quad. Em vez disso, desenvolveram-se diversas técnicas para transmitir quatro canais em suportes assentes sobretudo em dois canais (como o disco de vinil). Mesmo com os principais sistemas da época como o “SQ de Columbia e o QS da Sansui”, apresentavam enormes problemas ao nível do seu desempenho. As contingências de ordem económica e de engenharia eram de tal ordem que levaram à morte desta tecnologia.

Não foi só o método de transmissão do Quad que foi problemático, também a abordagem à criação do *surround* não foi inteiramente bem sucedida. Embora conseguíssemos identificar uma imagem áudio com muita precisão através de um posicionamento de altifalantes com uma posição de 60º graus na frente, a dimensão traseira é muito menos precisa.

Este sistema utiliza quatro altifalantes num quadrado (Figura-13), que pode reproduzir com precisão um campo sonoro real, usando só as diferenças de níveis entre os pares de altifalantes para a localização. O uso do nível apenas para a localização significa que a imagem pode

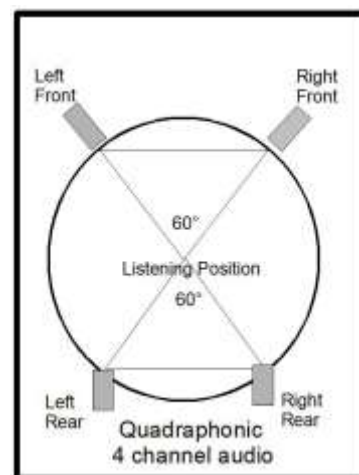


Figura 13 – Esquema sistema Quad – “Ed’ AV Handbook.com”

ser degradada, a escuta correta é no centro. Se desviarmos um pouco a escuta já não vai ser correta, pois o balanço de níveis está feito para o centro.

1.3.3 Ambisonics

O sistema Ambisonics nasce em várias fases, primeiro por Duane H. Cooper [1923 - 1995] nos Estados Unidos. Este físico descobriu de forma autónoma os primeiros passos para esta tecnologia, que mais tarde veio a ser desenvolvida por um pequeno grupo de académicos britânicos, Michael Gerzon [1945 - 1996] do Instituto Matemático de Oxford, e o professor Peter Berners Fellgett da Universidade de Reading, que fez com que o Ambisonics se tornasse num sistema de som *surround* integrado de alta resolução no início dos anos de 1970. Este sistema é uma técnica de captação de som *surround*, sendo que a sua ideia principal é assente num modelo matemático de altíssima compatibilidade com todos os formatos, com informação de altura, bem como de 360º de imagem horizontal.

O sistema Ambisonics foi concebido/pensado para superar os problemas dos sistemas quadrifónicos/Quad desenvolvidos até então.

O Ambisonics fornece-nos vantagens significativas ao que estamos a ouvir, não soa ao efeito *listener*, não estando dependentes da posição dos altifalantes, conseguimos estar fora do “*sweet spot*” podendo mesmo assim apreciar a totalidade da imagem sonora.

Além destes dois pontos, os ouvintes ou utilizadores podem posicionar os altifalantes em qualquer posição na sala, pois estes têm limites bastante abrangentes.

O Ambisonics sempre foi um sistema capaz de uma única mistura ou até mesmo uma múltipla reprodução, o áudio é misturado para um formato intermediário, este é hierárquico e extensível, desta forma poderia ser 2, 3, 4 ou mais canais, dependendo da acuidade espacial desejada.

A mistura pode ser processada em qualquer arranjo de altifalantes ou até mesmo com auscultadores, tendo em atenção:

- Mesmo volume por fonte;
- Posição e origem dos mesmos;
- Mesma “impressão” espacial;

Um sistema Ambisonics é aquele em que a velocidade e a energia dos vectores concordam e nunca mudam com a frequência. A baixas frequências de (400 Hz), o vetor tem velocidade de magnitude igual a 1 para todos os azimutes reproduzidos. Em altas frequências (700Hz – 44KHz) a magnitude do vector é substancialmente maximizada pelo espaço 360°.

Uma gravação Ambisonic pode ser representada de diferentes maneiras, por um conjunto de sinais, denominados W, X, Y e Z, sendo que na teoria da acústica W representa a pressão do sinal num determinado ponto, enquanto X, Y e Z, representam a velocidade dos vectores no

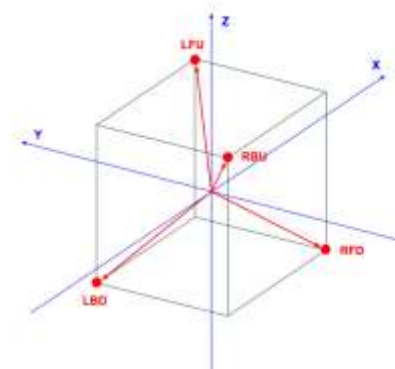


Figura 14- Geometria de um microfone tetraédrico – “A Tetrahedral Microphone processor for Ambisonic Recording”

mesmo ponto projetado em eixos ortogonais. Convencionalmente X, aponta para a frente, Y para esquerda e Z para cima.

Os quatro sinais correspondem também aos *output's* de quatro microfones reais A-format. W é uma cápsula omnidireccional, composto por sons de todas as direções com iguais ganhos, enquanto que X, Y e Z são cápsulas bidirecionais, conhecidas também como figura-de-oito. Estas estão orientadas ao longo dos três eixos espaciais (B-Format). Estes microfones, são combinados eletronicamente para produzir “microfones virtuais” ou seja quando descodificamos o sinal é possível a alteração de orientação e característica do microfone. Todos os quatro sinais representam um campo sonoro total tridimensional.

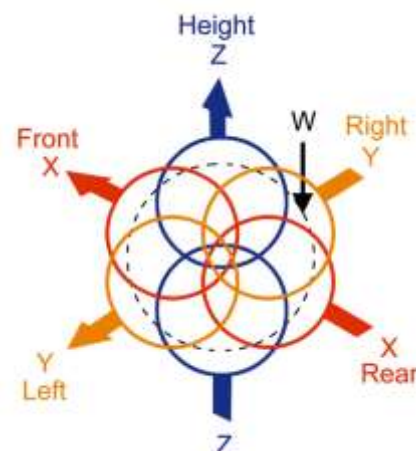


Figura 15 - Orientação dos microfones B-Format – “TVTechnology.com/Ambisonics”

A – Format

A-Format é o termo utilizado para os sinais, das quatro cápsulas de um microfone tetraédrico, desenvolvido nos primeiros anos da Ambisonics por Michael Gerzon, em 1975. As quatro cápsulas são cardióides, montadas muito próximas dos vértices de um tetraedro regular e apontando para o exterior, figura-14. A figura 15 mostra a orientação dos microfones em B-Format. Define-se A-Format, ao sinal sem processamento.



Figura 16- Microfone tetraédrico ST 250 - "A Tetrahedral Microphone processor for Ambisonic Recording"

B – Format

O formato básico que é utilizado para armazenamento e manipulação Ambisonic é chamado de B-Format, que codifica a informação direcional de um campo sonoro tridimensional para quatro canais chamados W, X, Y e Z.

$$W = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^k s_i \left[\frac{1}{\sqrt{(2)}} \right] \text{ Informação Omnidireccional}$$

$$X = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^k s_i [\cos \phi_i \cos \theta_i] \text{ Informação direccional de X}$$

$$Y = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^k s_i [\sin \phi_i \cos \theta_i] \text{ Informação direccional de Y}$$

$$Z = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^k s_i [\sin \theta_i] \text{ Informação direccional de Z}$$

Nota: s_i corresponde aos sinais mono que queremos codificar nas posições de acordo ϕ_i (ângulo horizontal (azimute phi), e θ_i (ângulo vertical (elevação) theta).

O sistema de coordenadas esféricas usado segue as convenções

Ambisonic: é orientado à esquerda com o eixo de X positivo tendendo à posição de 0º para ambos, azimute e elevação. O azimute aumenta no sentido contrário aos ponteiros do relógio em direção ao eixo de Y positivo. A elevação é positiva para valores acima do plano X, Y (direção Z positivo), e negativo para valores abaixo (direção Z negativo). De notar que (ϕ) é usado para azimute e que (θ) é usado para elevação sendo isto o contrário do padrão *American Notation Of Spherical Coordinate Systems*.

As equações mostram que um campo sonoro Ambisonic pode ser de forma sintética explicado pela multiplicação de cada campo de sinais, com o valor de uma função tridimensional (ϕ , θ).

Função para cada um dos Canais (W a Z).

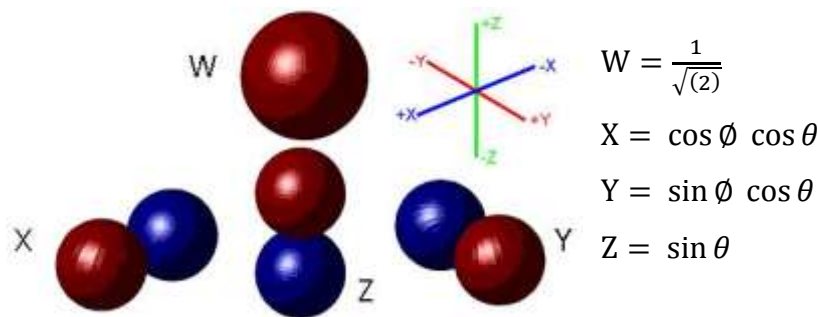


Figura 17 - Primeira Ordem Ambisonics

A fim de reproduzir um sinal B – Format, as respostas dos microfones virtuais são calculadas e enviadas para cada altifalante. Isto é, utilizando os sinais de B- Format, qualquer resposta de um microfone de primeira ordem, pode ser obtido apontando para qualquer direção, aliás muito semelhante com a teoria em que se baseia o *stereo* Blumlein, excetuando o facto de se poder escolher a resposta do microfone virtual a partir de um qualquer padrão de primeira ordem (e não apenas um figura de oito). Tal é possível utilizando apenas a equação, acima.

C- Format

Pode afirmar-se ser o formato de distribuição para o consumidor. Voltando ao início do sistema Ambisonics, a sua distribuição do sinal B- Format não era de todo prática, então pensou-se numa alternativa de representação desses canais, chamada UHJ, pensado para ser compatível com os *media* mono e/ou *stereo* existentes onde o campo de som gravado seria reproduzido com o grau de precisão que variava de acordo com os canais disponíveis. Na sua forma mais completa utilizava quatro canais para representar os mesmos dados que estão presentes no B-Format. No entanto, em vez de utilizar a soma e a diferença do B-Format, o UHJ utiliza até quatro canais sendo dois compatíveis com o dispositivo de som.

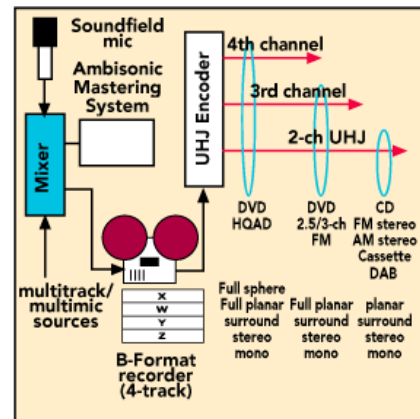


Figura 18 - O caminho teórico de B-format para as várias variantes / UHJ mono compatível com stereo. “wikipedia-ambisonics/UHJ”

Os canais tradicionais de L e R foram concebidos para fornecer uma representação do espectro total horizontal, embora com uma resolução limitada. Um terceiro sinal, T, pode ser combinado com os L e R para gerar os sinais originais W, X e Y. Um quarto sinal, Q, servia de transporte da informação relativa à dimensão vertical do sinal Z original.

A conversão de canais B- Format em canais UHJ e vice versa, exige o uso de transformadores de fase a 90º de espectro. No domínio do digital estes são usualmente implementados por *convolution filters*.

Para ouvir os arquivos UHJ num sistema *surround* necessitamos de um decodificador na nossa “sala”. Além disso, UHJ é restrito a campos sonoros de primeira ordem, horizontal (de dois e três canais UHJ) ou imagem completa (quatro canais UHJ).

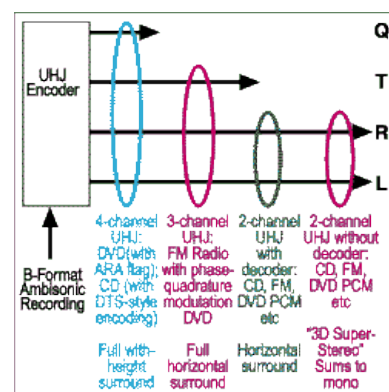


Figura 19 - Esquema hierárquico de codificação *surround*.” Ambisonics: The surround Alternative by Richard Elen”

Foram apresentadas propostas para a transmissão de várias combinações deste conjunto de sinais (L, R, T, Q) na rádio Frequência modelada, tendo estas soluções sido rejeitadas pela indústria, tendo esta rejeição significado o óbito do UHJ. No entanto, o uso do L e R, para transportar o sinal *surround*, seria posteriormente retomado pela *Nimbus records*.

O UHJ oferece-nos uma compatibilidade mono extraordinariamente superior à de “Mono pan-pot” utilizado em misturas mais convencionais (pan-pot em que o mono canal é reproduzido ao longo de vários altifalantes, através da variação da amplitude relativa do sinal enviado para cada um dos altifalantes proporcionando uma sensação de *stereo* a partir de sistemas mono artificial em relação ao ouvinte.)

D- Format

D- Format é o formato do sinal descodificado em *feeds* (saídas) produzido por um descodificador Ambisonic. A especificação desses sinais depende do número de altifalantes em uso e das suas posições.

E- Format

A primeira parte da descodificação de C – Format (UHJ) pode ser para recuperar algo como o B- Format. Contudo (considerando a horizontalidade do espectro) se o sinal, T, não existir ou não tiver largura de banda, a recuperação é imperfeita.

G- Format

G- Format foi proposto por Geoffrey Barton, cofundador da Trifield Productions (uma produtora de TV sediada em Londres) e membro da equipa original do desenvolvimento Ambisonic. Geoffrey Barton desenvolveu o primeiro equipamento de mistura em estúdio Ambisonic para a *British pro audio & design recording*, no início dos anos oitenta do século passado.

Ao trabalhar com Michael Gerzon nos seus últimos trabalhos a que Trifield tem os direitos, (patente US 5.671.287) em Setembro de 1997, G Barton sugeriu que um sistema 5.1, podia ser usado apenas para transportar os *feeds* de um decodificador Ambisonic do estúdio para o ouvinte em ambiente doméstico.

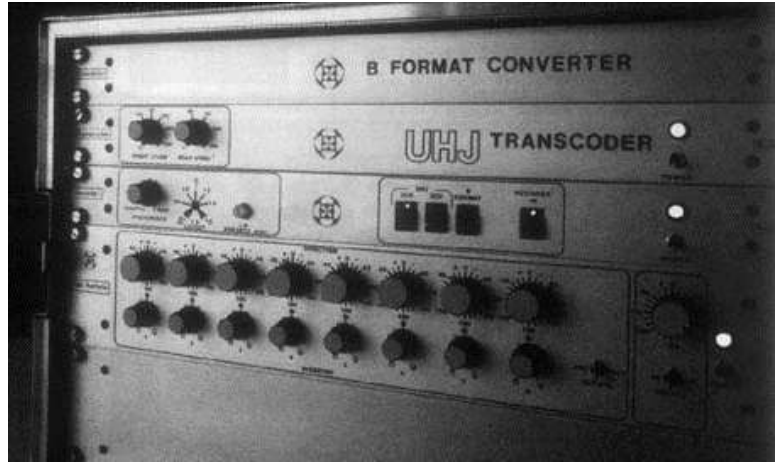


Figura 20 – Sistema de masterização Ambisonics. De cima para baixo, o B-Format Converter, o UHQ Transcoder, o Ambisonic Decoder, e a unidade Pan-Rotate.”Wikipedia/Ambisonic_Hardware”

Havia, no entanto, alguns compromissos que deviam ser observados em relação ao 5.1 convencional. O posicionamento dos altifalantes deveriam ter um posicionamento muito próximo ou semelhante ao utilizado em estúdio, (Os decodificadores Ambisonic convencionais permitem que o ouvinte coloque os altifalantes onde quiser) .

G-Format surgiu como uma das possibilidades apresentadas no estudo da autoria de Barton e Gerzon apresentado na convenção de 1992 *Audio Engineering Society* em Viena de Áustria. Neste estudo, também foram abordados novos tipos de decodificador que seriam necessários para ligar os altifalantes numa matriz 5.1, onde ao contrário do Quad e do Ambisonic padrão, os altifalantes não formam um polígono regular. Estes decodificadores são conhecidos como decodificadores de “*Vienna*”.

1.3.3.1 HOA- High Order Ambisonics (Ambisonics de Ordem Superior)

Na década de 1990 demonstrou-se que a abordagem Ambisonic pode ser estendida a ordens superiores, aumentando o tamanho do *Sweet Spot* em que o campo sonoro é reproduzido com precisão, bem como a qualidade global de localização, levantando contudo alguns problemas adicionais. Com a utilização de uma ordem superior crescente, será introduzido um maior número de canais Ambisonic (cinco novos canais para segunda ordem, sete novos canais para terceira ordem etc.), que também significa que o número mínimo de altifalantes necessários aumenta ($L \geq N$). Como serão então estes novos sinais Ambisonic? As ideias por detrás destes novos sinais são as seguintes:

1º Um campo sonoro pode ser considerado como uma superposição de ondas planas. É, portanto, claro que deve ser possível reproduzir um campo sonoro, reproduzindo as ondas planas que compõe o mesmo através, por exemplo, de altifalantes. As ondas emitidas por altifalantes podem ser assumidas como plano quando os altifalantes estão “suficientemente longe”, isto é, quando a sua distância é grande em comparação com os comprimentos de onda das frequências que reproduzem.

2º Uma onda plana pode ser representada como uma série infinita. Esta série tem uma representação matemática aparentemente complicada, mas se nos limitarmos a uma reprodução de um campo sonoro, na origem do nosso sistema de coordenadas ou seja o *Sweet Spot*, estamos a simplificar drasticamente esta questão. Podemos desenvolver esta série através das funções harmónicas esféricas, as quais consistem em simples termos constantes, “seno” e “cosseno”. As funções de harmónicas esféricas chegam-nos em diferentes ordens, com um crescente número para crescentes ordens. Por exemplo, existe apenas uma função para ordem zero, sendo este aquele que é aplicado na criação do canal W num sistema Ambisonic de primeira ordem. Existem três funções para um sistema de primeira ordem, que são utilizados na criação dos canais X, Y e Z. Da

mesma forma a codificação de primeira ordem combina os canais de primeira e zero ordem Ambisonic. Similarmente, um sistema de terceira ordem é feito não apenas com os sinais de terceira ordem mas também por zero, primeira e segunda ordem.

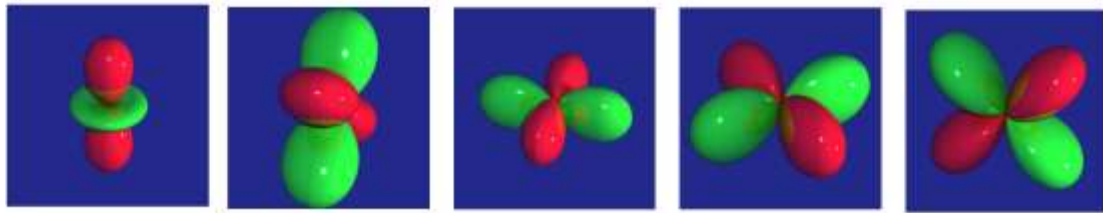


Figura 21 - Cinco Harmónicas esféricas de Segunda Ordem

A partir do momento que a cada nova ordem é usada, o número de funções introduzidas dobra.



Figura 22 - Sete Harmónicas esféricas de terceira Ordem

Naturalmente a informação direcional transportada pelas harmónicas esféricas torna-se mais presente quanto maior for a ordem, tornando a localização cada vez mais precisa. Ao mesmo tempo, torna-se evidente que a gravação do sinal Ambisonic de ordem superior torna-se mais complicada, pois não existem microfones com padrões polares compatíveis. Os referidos padrões, têm de ser criados através de um *Array de microfones*. Contudo a sintetização de campos sonoros *soundfield* artificiais é tão fácil como num sistema de primeira ordem.

Foi mencionado acima que o número mínimo de altifalantes exigido por um sistema Ambisonic é dado pelo número de canais Ambisonic ($L \geq N$). É, portanto, óbvio que os sinais que descrevem o plano de onda têm em algum ponto de ser manipulados, pois o número de canais e altifalantes serão finitos.

Tal resulta numa aproximação ao *soundfield* original, sendo mais preciso para ordem mais altas (melhor localização, melhor *sweet spot*). Tem ficado demonstrado que o ambisonic pode ser um caso de *holophonia* relacionando com o princípio de *wave field Synthesis*.

1.3.3.2 Descodificadores Ambisonic

A implementação de sistemas de reprodução Ambisonic está limitada pelo número e colocação dos altifalantes. Na prática, os sistemas *Real World* apresentam uma cobertura pobre, acima e abaixo da posição ideal de audição. Uma vez que a localização experimentada pelo ouvinte é uma função não linear dos sinais vindos dos altifalantes torna-se difícil a concepção dos descodificadores adequados. Como alternativa é possível a concepção de descodificadores através de um processo de pesquisa recorrendo a técnicas analíticas de medição, avaliando cada um dos pontos.

Uma das vantagens dos sistemas Ambisonic é que o formato de transmissão é independente e/ou autónomo do posicionamento dos altifalantes. No entanto, tal significa que cada sistema precise de um descodificador específico que consiga trabalhar com posicionamentos específicos dos altifalantes, a partir dos sinais transmitidos o descodificador irá criar diferentes sinais dirigindo-os a diferentes altifalantes.

A teoria do Ambisonic contém encapsulamentos simples de frequências altas e baixas do auditório/ espaço de audição, que poderão ser usados no design dos descodificadores, bem como teoremas que facilitam este mesmo design em posicionamentos baseados em polígonos regulares e poliedros.

Tem sido teorizada a concepção e ensaio dos descodificadores de primeira ordem para *layouts* de altifalantes horizontais regulares, bem como o uso de uma optimização não linear.

O sistema Ambisonics representa um campo sonoro com um grupo de sinais que são proporcionais a “esferas harmónicas”. O sistema original Ambisonic era apenas de primeira ordem, mas na década de 1990 foram

desenvolvidos sistemas de ordem superior. Na primeira ordem Ambisonic os componentes de ordem zero representam a pressão sonora, e os três componentes de primeira ordem representam a velocidade das partículas acústicas. Se estes componentes forem reproduzidos perfeitamente, então o som estará correto no centro.

Contudo, não é possível ter os componentes de primeira ordem corretos exceto num único ponto sendo também impraticável a sua correção em frequências mais altas, onde o comprimento de onda se torna mais pequeno que o tamanho da cabeça humana.

O trabalho do descodificador é criar a melhor percepção do campo sonoro que está a ser reproduzido, dado o sistema de altifalantes em uso.

Em termo práticos temos:

- Um ganho constante de amplitude para todas as fontes;
- Um ganho constante de energia para todas as fontes ;
- A baixas frequências, correta reprodução de velocidade e direção;
- Em altas frequências, máxima concentração de energia direcional;
- Emparelhamento de ambas as frequências (altas e baixas) da direccionalidade sonora;

Por si só estes critérios podem ter diferentes interpretações ou importância consoante o material base e o seu uso pretendido. Podemos identificar três tipos de “programa”:

- Gravações naturais feitas por um microfone de primeira ordem Ambisonics (microfones omnidireccionais, cardióides);
- Gravações naturais feitas por microfone de ordem superior (tetramic, soundfield, microfones com bi – cápsula);
- A gravações artificiais de primeira ordem bem como HOA(High Order Ambisonic).

O primeiro caso, é a grande força do Ambisonics. Boas reproduções de Ambisonics de primeira ordem são provavelmente o mais próximo na recriação de um ambiente sonoro virtual, seja ele o ruído ambiente de um mercado, seja ele o som de um concerto. Dadas as suas características, a sua utilização estará mais direcionada para a criação de atmosferas sonoras realistas, mesmo que pontualmente sejam necessários métodos mais precisos (HOA) em sons específicos. Para manter esta vantagem exige-se uma semelhança de um palco sonoro difuso. O ganho de energia que varia com a direção e “empastelamento” de direções, particularmente no plano horizontal, todas elas prejudiciais, é como que cada altifalante busca-se a atenção do ouvinte, a vítima imediata seria direccionalidade.

1.4 ITU System

Em 1994, a ITU especificou um posicionamento dos altifalantes para o sistema *surround*, com três altifalantes a 0° e a $\pm 30^\circ$ na frente, e os altifalantes *surround* a $\pm 110^\circ$, tal como na norma ITU –RBS. 775.

O primeiro diagrama da figura – 23, mostra exatamente isto com o ITU 5.1, incluindo 30° , 100° e 120° , dentro da tolerância permitida pela norma. Torna-se óbvio que poucas salas-de-estar podem obedecer a este tipo de posicionamento, se não houver arranjo do espaço doméstico.

Na verdade a norma ITU – R BS 775 é uma tentativa de combinar a disposição de altifalantes numa sala de cinema num espaço doméstico, não fazendo nenhuma concessão à usabilidade do espaço.

No primeiro diagrama da figura 23 , o sistema de “Real World” (círculos vermelhos) é sobreposta sobre a recomendação ITU (círculos azuis). Numa realidade perfeita teríamos que ter uma divisão própria em casa para acomodar

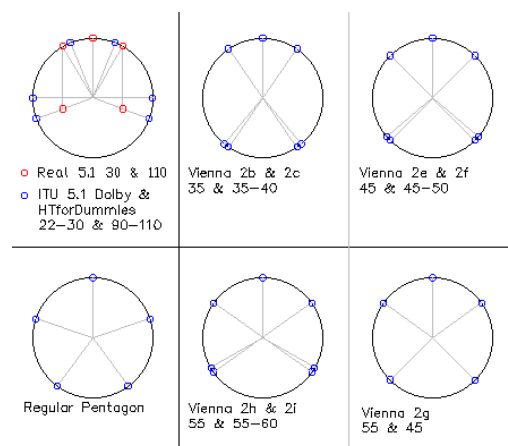


Figura 23 – cinco layouts de altifalantes para uso doméstico “Ambisonics.info”

estes sistemas. Por alguma razão, quem pode, reserva uma divisão específica da casa para montar sistemas *home – cinema*, visto que para observar este tipo de exigências esta divisão não pode ser usada para mais nada.

Se o esquema de altifalantes (sem altifalante central) for um quadrado e se o ouvinte/utilizador colocar o ponto de escuta nos limites traseiros, os altifalantes obedecem aos mesmos ângulos do ITU-R, advém daqui a importância dos decodificadores ITU-R. Estes decodificadores ITU-R formam a base dos sistemas “Real World” onde os altifalantes frontais e *surround* formam um retângulo ou quadrado mas o ouvinte posiciona-se perto das traseiras desta disposição.

Existe uma diferença importante entre os sistemas “Real World” e o sistema ITU –R BS.775. Embora os altifalantes obedçam aos mesmos ângulos, os altifalantes traseiros estão muito mais próximos do ouvinte. Se o posicionamento dos altifalantes se encontrarem num quadrado em que os altifalantes a 1,05 X 1.0, com o LF e RF a $\pm 30^\circ$ e com o LS e RS a $\pm 110^\circ$ (possivelmente o mais próximo daquilo que é entendido como uma posição universal), as saídas dos altifalantes traseiros serão 5.48 Db mais alto que os frontais, sendo também 0.532 mais rápidos do que os frontais. Isto poderá ser corrigido no decodificador através da aplicação de diferentes *Delays* e compensação de amplitude ‘1r’, *Near Field Compensation*.

Por fim mesmo o audiófilo mais purista tem de lidar com portas, janelas, móveis, sofá, entre outros objetos que compõem o espaço doméstico, tornando-se quase impossível a colocação dos altifalantes nas suas posições ideais.

1.5 Localização Auditiva

Devido às gamas de frequência de onda envolvidas, o mecanismo de localização de audição humana utiliza diferentes pistas direcionais sobre diferentes regimes de frequência. Nas baixas frequências, a localização depende da detecção de “Interaural time Differences” (**ITDs**), mas a altas frequências existe uma ambiguidade porque a cabeça humana abrange múltiplos comprimentos de onda em torno de 1KHz. Por esta razão, acima de 1KHz a localização muda abruptamente, dependendo do “Interaural Level Differences” (**ILDs**).

Uma maneira para prever a localização é o uso de Head Related Transfer Functions (**HRTFs**) para o cálculo dos sinais reais de audição do ouvinte, isto para além de variar de ouvinte para ouvinte seria, embora viável, muito difícil de conseguir.

Michael Gerzon desenvolveu uma série de medições que são mais simples de usar do que o (**HRTFs**). A mais simples destas medições são os vectores de localização de velocidade, **Rv**, e o vector de localização energética **Re**. A direcção de cada um indica a direcção da percepção de localização esperada, enquanto a magnitude indica a qualidade de localização.

Numa audição natural a partir de uma única fonte a magnitude de cada vector será exactamente 1, e a direcção dos vectores é a direcção para a fonte. De notar que **Rv** é proporcional à quantidade física de partículas acústicas, **Re** é uma construção abstracta. Estas métricas não são específicas dos sistemas Ambisonics, podem ser usadas para prever a qualidade de imagem produzidas por qualquer sistemas de reprodução de múltiplos altifalantes, independentemente da forma como se usa o *panning*, incluindo o *stereo* de dois canais.

1.6 Obstáculos na aceitação Ambisonics

Depois de falarmos em Ambisonics, é legítimo perguntar por que não estamos todos a usar este sistema ou por que não é ele do conhecimento de todos? Numa primeira resposta e também a mais fácil, os inventores originais do Ambisonics não estavam na altura com uma posição financeira favorável para desenvolver a ideia comercialmente. Felizmente, havia uma organização que foi estabelecida para fazer mesmo isto: ajudar com que as invenções universitárias saíssem para a indústria e para serem comercializados: a *National Research Development Corporation* (NRDC). Estes já tinham tido sucesso com projetos semelhantes, então os jovens inventores do projeto Ambisonics foram apresentados à NRDC. A abordagem da NRDC consistia em obter e administrar as patentes associadas à invenção, financiar o seu desenvolvimento e em seguida encontrar parceiros que ajudassem no desenvolvimento/produção. Embora não fosse fácil encontrar uma solução, pois o projeto Ambisonics precisava não apenas de apoio no desenvolvimento mas também noutras áreas (produção industrial, marketing, registos de patentes), é aqui que a NRDC ganha um papel de grande importância procurando parceiros que preencham as diferentes necessidades de um projeto ainda embrionário. Algumas empresas pegaram neste sistema como a *Nimbus* ou a *Calrec* que produziu o primeiro microfone *soundfield*, mas muito pouco estava a acontecer.

No início dos anos de 1980, os fabricantes de hardware olharam para o Ambisonics mas colocaram o seu desenvolvimento em espera por falta de software. Mesmo com alguns resultados positivos havia outros obstáculos como a complexidade e os custos de instalação serem bastante elevados e os vários níveis de instalação, sobretudo os mais baixos, não mostravam grande alteração sobre a imagem Stereo, além de não ser estável. Por último e em consequência das implementações mais baixas, perdia-se o efeito Ambisonics em baixas frequências.

2. *Surround* em transição.

2.1 Princípios de Gravação em altura

Os novos formatos multicanal propõem uma expansão do 5.1 através da adição de canais verticais trazendo a terceira dimensão às gravações. Estas novas propostas, para além de permitirem maior realismo de reprodução espacial, obtêm ao mesmo tempo uma gama mais ampla de efeitos sonoros em termos de som direto, reflexões, reverberação e som ambiente, tirando partido dos canais complementares extra (5.1 + 4, também conhecido como Auro -3D 9.1) os princípios psicoacústicos (*perception of elevated phantom sources*), profundidade espacial, impressão espacial, atmosfera bem como a estabilidade apresentadas. Sendo matéria de distribuição de áudio estas obrigam inevitavelmente a novas configurações de “*arrays*” de microfones na captação.

Após a confirmação em 1992 do padrão ITU-R BS. 775-1, levou algum tempo até que as empresas da electrónica de consumo implementassem a engenharia necessária para o seu uso. A mudança do 2.0 para o 5.1 na gravação foi o primeiro passo considerável em direção à reprodução de um ambiente acústico realístico, fugindo ao conceito de *stereo* puro com dois altifalantes em frente do ouvinte.

O 5.1 era, contudo, apenas um compromisso devido às restrições com a compatibilidade com o *stereo* 2.0 , acrescentando ainda o facto de, à época, os formatos para cinema suportavam apenas seis canais. Assim sendo, o 5.1 traz não mais do que duas melhorias, a saber:

- Aumentou a área de audição e melhorou a estabilidade e qualidade do som *Stereo*, fazendo-o através da subdivisão dos sinais L/R. Pegando nos 60º de largura, dividindo em dois canais de 30º cada (L/C e C/R).
- Dentro de certos limites, permitiu um ambiente acusticamente mais próximo do real através do posicionamento de altifalantes extra atrás e nas laterais do ouvinte.

Podemos afirmar que, hoje em dia, a utilização do 5.1 na produção, distribuição e na electrónica de consumo está perfeitamente estabelecida. Da parte do consumidor tornou-se perfeitamente aceitável a presença de um grande número de altifalantes, contudo apenas uma pequena parte dos ouvintes/utilizadores são capazes de tirar todo o partido dos sistemas instalados, para tal podemos pensar em algumas razões:

- O ambiente de audição não é favorável em termos de geometria ou acústica, a distribuição de altifalantes está feita de modo impróprio, ou os parâmetros dos dispositivos são inapropriados;
- A qualidade de gravação é má resultando isto em restrições na produção ou deficiente técnica na captação e/ou mistura;
- A zona de audição 5.1 é demasiado estreita, resultando da exigência de determinadas gravações obrigarem a um posicionamento perfeito do ouvinte, assumindo que apenas interessa o *Sweet Spot*;
- Uma imagem tridimensional pobre, resultado de um posicionamento incorreto dos altifalantes em altura, e uma distância imperfeita entre altifalantes.

Esta lista, apenas demonstra que os problemas surgem principalmente durante a fase de aplicação prática da tecnologia. Isto é igualmente verdade quer para o produtor quer para o ouvinte. A eliminação destes problemas através da simples adição de mais canais/Altifalantes não é possível. De facto as melhorias recentemente introduzidas quer através de sistemas 7.1, *High Order Ambisonics* (HOA), e *Wave field Synthesis* (WFS) exigem novas abordagens, novos dispositivos e uma especial atenção dos engenheiros de som. Para além disto temos de adicionar a aceitação do ouvinte em transformar a sala de estar numa sala de cinema. Neste contexto, a atual diversidade de formatos e a ausência de padrões constitui mais um obstáculo.

A atual especificação DCI ou SMPTE 428 M, especifica o mapeamento e distribuição espacial e permite a utilização de dezasseis canais.

O padrão ITU R BS 775-1 já mostra os altifalantes LL e RR localizados entre os altifalantes frontais e os *surround*. Isto permite melhorar a qualidade *stereo* da imagem lateral, aumenta a zona de audição e preenche a lacuna entre a imagem frontal e lateral, isto conduz a uma maior flexibilidade na reprodução de som.

Em conjunto com alguns desenvolvimentos na tecnologia do som, companhias como a DTS e a Dolby seguiram este princípio e promoveram vários formatos 7.1. Usando *array's* semelhantes (5.1), quatro altifalantes são posicionados nas laterais e atrás da zona de audição, utilizando a mesma disposição (L/C/R).

Atualmente existem inúmeros títulos em suporte *Blue-Ray* com o áudio codificado em 7.1. Estes suportes apresentam excelentes níveis de definição sonora e de estabilidade direccional nas laterais e atrás do ouvinte. Contudo, as edições musicais disponíveis são ainda muito poucas. Todos estes formatos estão basicamente assentes em sistemas estereofónicos, usando altifalantes virtuais (*Phantom Sources*) entre dois altifalantes adjacentes. A direccionalidade destas fontes virtuais depende grandemente da posição do ouvinte, sendo estas uma variável não controlável pelo sistema, portanto a direccionalidade da imagem assenta sobretudo na colocação dos altifalantes. Também dependentes da posição do ouvinte, logo não controláveis pelo sistema, são os volumes de cada um dos altifalantes, este aspecto é particularmente verdadeiro entre as fontes frontais e de *surround*. Percebemos assim que a adição de mais canais no plano horizontal procura um aumento da zona de audição, tornando o som mais homogéneo e acrescentando maior resolução na estabilidade direccional.

Existem métodos alternativos na utilização de canais adicionais, mantendo o plano horizontal, colocando os altifalantes acima da cabeça do ouvinte incrementando a noção de espaço dentro de certos limites. Isto permite a criação de um som tridimensional.

Há aproximadamente 15 anos Werner Dabringaus publicou a primeira gravação musical usando a técnica de gravação própria denominada 2+2+2. Esta

abordagem, embora baseada no sistema 5.1, não faz uso do canal central e do canal de *subwoofer*, em vez disso utiliza dois altifalantes posicionados por cima de L e R. Este conceito foi pensado originalmente para o suporte de DVD. O objectivo era o de reproduzir o som de uma sala de concertos o mais realisticamente possível. Por isso, ao invés de usar o canal central e o canal de *subwoofer*, Werner Dabringaus adicionou altifalantes que acrescentam uma dimensão vertical ao som. De modo semelhante, Tom Holman integrou a terceira dimensão, usando dois altifalantes altos e inclinados em posição frontal ao ouvinte. Contudo, o seu dispositivo *surround* 10.2 exigia a colocação de oito canais no plano horizontal tendo sido originalmente desenvolvido para salas de cinema e aplicações de *Home-cinema*.

Em 2006, Wilfried Van Baelen apresentou o Auro 3D que apresentava quatro canais extra para a dimensão vertical. Na versão base deste sistema os altifalantes superiores completam o formato de 5.1 – estando colocados por cima de, L, R, RH, LH, (figura – 24).

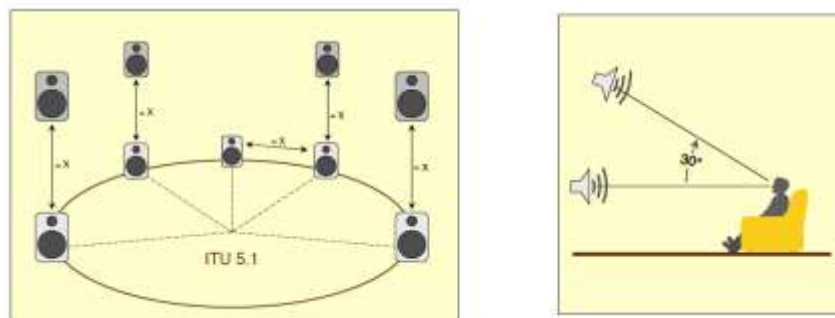


Figura 24 - Sistema Básico Auro 3D, retro-compatível com ITU –R BS. 775 – 1 “Witteck 3D ISCA public”

A principal característica deste formato é uma disposição cubiforme dos oito altifalantes. Esta disposição permite a inclusão dos altifalantes superiores para a reprodução de *early reflections* e para a reprodução adequada de sons difusos de reverberação. Em termos de parâmetros da imagem, de envolvimento, de impressão espacial e profundidade, podemos considerar este formato um excelente ponto de partida. Para mais, a colocação dos altifalantes superiores oferecem as mesmas possibilidades para a imagem *stereo* que o sistema ITU sem o altifalante central. Em contrapartida, a colocação de altifalantes imediatamente acima da cabeça do ouvinte e a criação de “Fontes Virtuais” *Phantom Sources*, entre os altifalantes superiores e inferiores, torna-se praticamente impossível.

Acima dos 30º laterais não possuímos capacidade para distinguir a origem, a fonte do som.

Algumas das limitações do formato 5.1 podem ser eliminadas ou no mínimo atenuadas com o Auro 3D 9.1 e com Dolby Atmos, ação que outros sistemas não conseguem. Na Tabela 1 podemos ver os atributos de cada formato. Nesta tabela os primeiros quatro parâmetros afectam a direccionalidade do som (podendo ser alterados usando o *panning*); Os quatro atributos restantes são referentes aos efeitos do som indireto (concebidos através de técnicas de captação e processamento). Estas características permitem a categorização e comparação dos perfis das várias técnicas de uma forma facilmente compreensível, atendendo a que as recomendações de reprodução tenham sido devidamente implementadas, não esquecendo a utilização das técnicas convenientes de captação e mistura.

Atributos da reprodução sonora	2.0 Stereo	5.1 Surround	Auro-3D 9.1	Dolby Atmos	WFS	Técnicas Binaurais
Direção Frontal	•	••	••	••	••	•
Direção Surround		•	•	••	••	••
Elevação			•***	••		••
Altura			•			••
Distância/Profundidade	•**	•	••	••	••	••
Proximidade com a cabeça					•	••
Perspectiva Interativa					••	
Impressão Espacial	•**	•	••	••	•	••
Envolvimento		•	••	••	•	••
Timbre	••	••	••	••	•	••

Tabela 1 - Comparação de perfis dos formatos *Stereo / surround* (* arrays horizontais ** emulação da impressão de profundidade/espacialidade *** instável; apenas no *SweetSpot*)

Tal como podemos ver nesta tabela o Auro 3D 9.1 e o Dolby Atmos, oferece algumas vantagens quando comparado com outros formatos, tal também se aplica aos outros formatos quando complementam sistemas *surround 2D* com *arrays* de quatro altifalantes por cima do ouvinte.

2.2 Reprodução em Altifalantes

Um ponto importante no qual nos devemos centrar é: quais as características da reprodução 3D Áudio que são apropriadas para o 3D-Vídeo? A primeira impressão é que quando comparado com o áudio o ponto de partida é diferente, a imagem bidimensional é convertida para 3D-Vídeo através da criação do sentido de profundidade usando os meios de estereoscopia. Ao contrário do áudio, a terceira dimensão é altura (sendo as outras duas a direccionalidade e a distância). Independentemente da limitação das possibilidades imagéticas o 2.0 *Stereo*, 5.1 *surround* e o WFS são definidamente técnicas 2D. Tal torna-se particularmente evidente com o 2.0 *stereo*, fazendo este uma emulação da largura e profundidade e limitando a zona de audição a um ângulo de 60º; com o 5.1 *surround* e WFS as limitações tornam-se menos perceptíveis ver tabela 1.

Uma Imagem 3D-Vídeo pode ser concebida como uma janela para uma cena tridimensional. O sistema WFS permite a correspondência entre som/imagem “*in front of speaker display*”. Assim, de forma a criar uma combinação perfeita entre o áudio e o vídeo, teria que se utilizar técnicas como WFS e Binaural, contudo esta abordagem dificilmente traria qualquer tipo de mais valia. Existindo várias razões para tal: a primeira, é a ausência de atributos verticais do sistema WFS; a segunda, a característica principal do Binaural, a utilização de auscultadores.

Assim sendo, os formatos Auro 3D (9.1 e superiores) e Dolby Atmos tornam-se bastante atrativos, indo ao encontro das exigências atuais e futuras da indústria do cinema, videojogos, *broadcast* e música. Tal como se poderá ver mais á frente, as técnicas de captação para um “*array*” de altifalantes Auro 3D e Dolby Atmos precisam de dar especial atenção ao fenómeno da *psicoacústica* de forma a alcançar bons resultados aquando da implementação de decisões criativas especiais. Após a introdução do formato 5.1, inclusão da altura, criou-se mais um passo em direção da liberdade em relação ao velho dispositivo estereofónico. Uma das tarefas mais exigentes é a gravação de uma performance musical que seja fiel ao espaço, aos instrumentos e aos executantes. Exigindo a

utilização de técnicas de captação específicas para controlar ao mesmo tempo as quatro características principais da gravação 3D – direccionalidade e largura, profundidade, impressão espacial e envolvimento.

2.3 A psicoacústica e o multicanal

A audição humana avalia as várias propriedades do campo sonoro e usa-as para uma audição espacial. De forma breve a Tabela 2 esquematiza os significados do som direto, reflexões, reverberação e envolvimento do ouvinte para cada um dos atributos do som. Os sons envolventes incluem o campo sonoro difuso (ruído de fundo) e a reverberação audível.

Atributos de som espaciais	Som Direto	Primeiras Reflexões (<i>Early Reflections</i>)	Reverb	Ruído de fundo
Direção / Elevação	••	•		
Distancia / profundidade		••		
Impressão Espacial		••	•	
Envolvimento			•	••
Timbre	••	•	••	

Tabela 2 - Interrelação entre as qualidades sonoras e os géneros de campos de som

O ouvido é capaz de, naturalmente, distinguir estas três partes do som, contudo quanto mais deteriorada estiver a localização e o *timing* devido a uma reprodução inapropriada, maior é a dificuldade em alcançar esta distinção intuitiva. Um bom exemplo disto é uma gravação mono onde o som direto, *early reflections* e reverberação se juntam e formam um “empastelamento” grande do som. Neste caso, a percepção espacial é exclusivamente baseada num reconhecimento consciente. Por exemplo, uma reverberação muito longa implica uma sala grande, um som direto de baixo nível significa uma “distância longa”.

2.4 Reflexão e *Reverb*

Partes do som indireto permitem a reprodução do espaço gravado. A relação entre som direto e indireto determina os atributos espaciais de um evento sonoro, conforme podemos ver na figura – 25. O padrão natural das “*early reflections*” ocorrendo com um *delay* entre quinze e cinquenta milissegundos tem um papel importantíssimo na audição espacial. Quando falamos de gravação, esta parcela do som reflectido exige uma atenção redobrada pois ela é criativa para atributos como a distância, profundidade e impressão espacial. A audição pega na informação espacial das “*early reflections*” e converte-as num evento espacial.

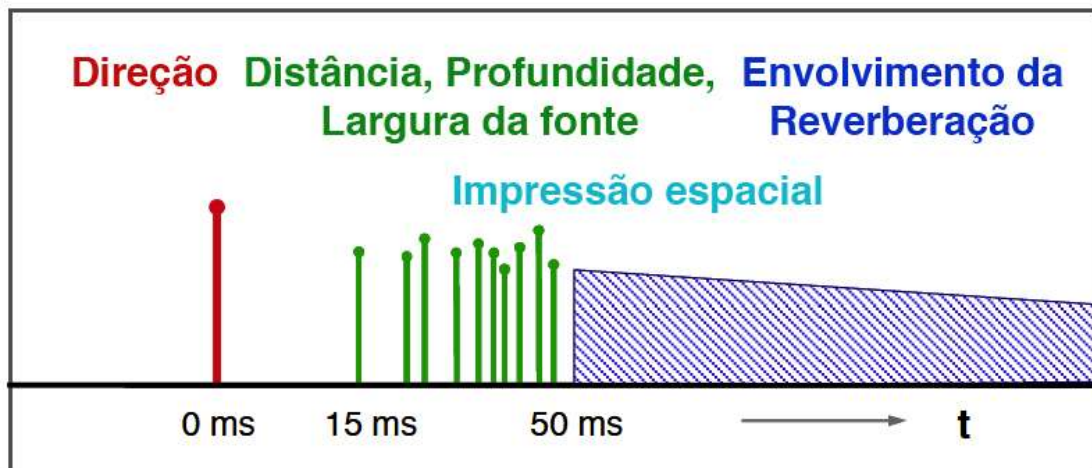


Figura 25 – Influência dos atributos sobre a impressão sonora no tempo

Com os sons naturais, o ouvido humano faz esta conversão naturalmente e com grande precisão, devido a que estes tipos de som possuem todas as qualidades de um padrão de reflexão na sua forma original. Os parâmetros chave incluem:

- A estrutura de tempo em relação ao som direto;
- Níveis e espectros;
- Direções de incidência vertical e horizontal;

Um ambiente espacial torna-se realístico quando o ouvido é capaz de reconhecer e interpretar as características do som reflectido, ou seja, quando

compreende o padrão de reflexão. Sendo assim a reprodução tem que ser obrigatoriamente comum ao ambiente espacial real. O mesmo se aplica à distribuição da incidência da distribuição espacial das *early reflections*.

Obedecer a esta exigência é muito difícil fazendo uso de “*room microphones*”, porque é necessário manter o *crosstalk* acústico nos canais de microfones de ambiente o mais baixo possível (no máximo 10 Db). Uma única reflexão vinda de uma direção específica – digamos do canto superior esquerdo traseiro – deverá ser reproduzido como tal, não poderá ser captado pelos microfones errados. Este seria o caso por exemplo se usássemos microfones omnidireccionais no mesmo *Array*.

A percepção das distâncias e profundidade depende sobretudo das *early reflections*. Isto pode ser audível adicionando *early reflections* puras (sem reverberação) gravadas num espaço real para utilizar numa gravação que foi feita em estúdio. A fonte é apercebida como sendo distante estando em correspondência com o padrão de reflexão. A percepção é particularmente estável quando as reflexões veem das direções originais na metade superior do espaço. A reprodução da profundidade exige uma manipulação cuidada das *early reflections*.

A adição da reverberação às qualidades espaciais cria uma noção de profundidade natural e uma impressão espacial realista. Mesmo em tempos curtos de reverberação, a reprodução virtual destes dois atributos cria uma impressão espacial realista. Ao aumentar o tempo de reverberação, usando, por exemplo, as reverberações próprias de sala de concertos, acrescenta outro atributo à audição espacial, a envolvimento.

2.5 Ruído de fundo difuso

Sons de fundo (ou ruído de fundo) consistem num grande número de fontes individuais espacialmente distribuídas que não podem ser localizadas separadamente. O som das folhas no chão de um bosque, o ruído de uma plateia e a sua resposta, os aplausos a determinada performance são disto exemplo. Ao contrário do som indireto, estas partes do som *surround* não podem ser criadas através de efeitos, torna-se então óbvio a importância das técnicas de captação. Através de algumas tentativas, um operador de áudio pode criar um equilíbrio realista entre a reverberação e o ruído de fundo, selecionando cuidadosamente as cápsulas e os padrões polares, prestando especial atenção à colocação dos microfones.

Contudo, existem situações onde isto não consegue ser feito devendo ser evitado aquando a gravação em si. O uso de uma unidade de gravação de oito canais traz maior flexibilidade, permitindo o encaminhamento do ruído de fundo para os altifalantes inferiores enquanto que a reverberação é enviada para os oito canais.

2.6 3D áudio para Auro 3D

Os altifalantes do plano superior tem as mesmas capacidades imagéticas que os do plano horizontal (exceção ao altifalante central). A imagem *stereo* na gama L/ C/ R é complementada por um som *stereo* de dois canais na base superior Lh, Rh.

Os altifalantes verticais adicionais podem ser usados da mesma forma que os do plano horizontal. Esta disposição só por si melhora consideravelmente a flexibilidade. Aspecto interessante são as possibilidades resultantes da interação entre os dois planos (superior e inferior). Nas secções seguintes descrevemos a imagética da fonte através da utilização de 5 altifalantes centrais e a reprodução das reflexões e som difuso no “*array 3D surround*”.

2.7 Fontes superiores

Infelizmente a imagem *stereo* de fontes localizáveis pode ser conseguida apenas nas margens superiores e inferiores frontais ao ouvinte (entre LR e Lh – Rh). A localização de fontes virtuais entre as fontes superiores e inferiores é altamente instável devido às diferenças de propagação do *delay* e também do espectro.

A elevação não pode ser alcançada usando apenas o controlo de *panorâmica* – tal afetaria o som e a percepção espacial de uma forma não controlável. Mais, se tivermos pequenas diferenças na propagação do *delay*, teremos uma fonte virtual mais para baixo ou mais para cima do ponto ideal. Um *delay* de apenas 0.5 milissegundos é suficiente para fazer mover o evento de áudio para um lado ou para o outro. O resultado destas limitações é uma zona de audição fortemente limitada no que diz respeito à profundidade e altura . A figura 26 mostra as condições de *delay* num array de altifalantes Auro 3D *Home-Cinema*.

A elevação ou expansão superior de uma fonte estacionária usando os altifalantes superiores é praticamente evidente sempre que necessária uma zona de audição mais ampla. Tentar resolver este problema através do controlo de *panorâmica* não traria grande benefício, resultando ainda na adição de coloração do som (que seria contudo mascarado quase completamente pela parte do campo de som difuso). Este cenário é em tudo semelhante à utilização de pares de altifalantes laterais, L , LS, R, RS. Os altifalantes são as únicas fontes estáveis, fontes em movimento que podem contudo ser representadas dentro de certos limites.

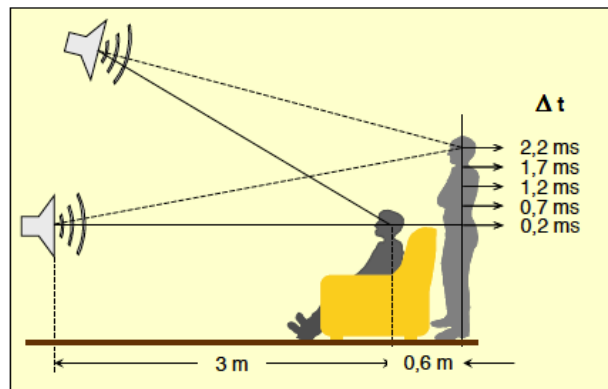


Figura 26 -Diferenças no *delay* ocorrentes em posições de audição para além do *SweetSpot* "Wittek surround_2013 public"

2.8 Reflexões e som difuso

Já vimos que as reflexões e o som difuso, em particular as *early reflections* no plano superior, são devido às diferenças no *delay* de reflexões individuais nas cápsulas. As reflexões ocorrem também, naturalmente, de direções superiores.

Uma distribuição das reflexões reduz a sua densidade espacial permitindo ao ouvido uma melhor distinção da informação espacial. A figura – 27 mostra o efeito para a transição do 2.0 para o 5.1 para o auro 3D. Neste contexto um outro

factor crítico é o efeito positivo sobre o timbre / tom, que resulta num melhoramento na percepção da reflexão do som.

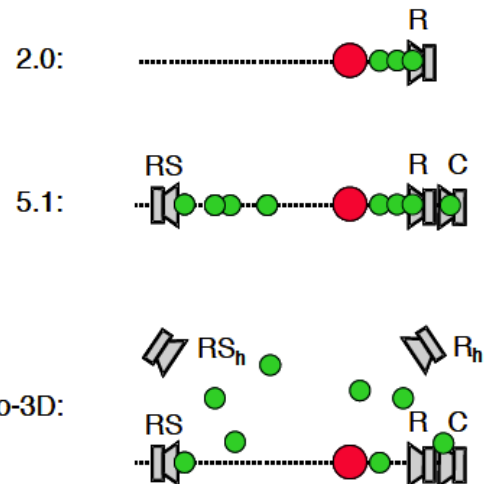


Figura 27 – Distribuição espacial dos padrões de reflexão nos sistemas 2.0, 5.1 e Auro 3D “AES 130 Theile Wittek”

2.9 Gravar para Auro 3D

Quando se estuda técnicas de gravação adequadas ao Auro 3D é importante ter conhecimento dos princípios que regem a audição natural. Tendo em conta a complexidade envolvida neste sistema, poderíamos decidir que a melhor abordagem seria numa base de tentativa e erro, sabendo um pouco sobre a experiência na pesquisa de uma técnica adequada à gravação para 5.1, que uma gravação discreta precisa de ser consideravelmente melhor que um “upmix” automático (já suportado pelo Auro 3D).

Contudo, é necessária uma pesquisa para verificar, refinar e melhorar as conclusões baseadas na teoria psicoacústica. Porém um método mais concreto não pode ser ainda descrito. Uma abordagem científica tomará o sentido inverso: linhas gerais podem ser específicas com base em boas gravações e sabendo porque determinados sons soam bem e o porquê da existência das referidas

linhas gerais, usando estes conhecimentos a nosso favor a não observação de uma ou mais orientações provoca imediatamente um modo de trabalhar/gravar deficiente.

Esta proposta tem um papel fundamental na implementação de uma técnica de gravação adequada, também no 5.1 existem técnicas que são

mais apropriadas para a produção de uma imagem espacial convincente, e outras

que são melhores para o uso com microfones “pontuais” (microfone extra).

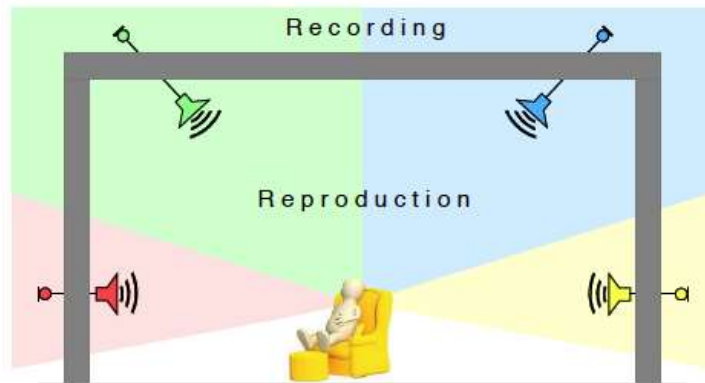


Figura 28 – Reprodução das direções do evento original exige uma separação estrita da separação de canais durante o processo de gravação “AES 130 Theile Wittek”

2.10 Separação dos canais

Para criar uma resolução espacial de som direto, fundo, difuso e ou “*early reflections*”, o posicionamento dos microfones precisam de assegurar um nível suficiente de separação de um canal acústico (figura - 28) , caso contrário o array dos múltiplos altifalantes, tal como especificado para o Auro 3D, produziram um resultado abaixo do expectável.

Quanto maior for o número de canais de *playback* disponíveis maior será a dificuldade em captar uma sala, tendo em vista a separação do canal acústico, aumentando também o risco de um efeito *crosstalk* indesejável. Tal resulta numa coloração também ela dependente do posicionamento do ouvinte. A colocação de microfones de forma a anular o efeito de *crosstalk* indesejável é muito difícil com nove canais. Existem duas soluções que também resultam com o 5.1: seja através da utilização de técnicas de gravação como o OCT *surround* ou aumentando as distâncias entre microfones.

Na figura - 29 temos duas amostras feitas com dois *arrays* de microfones totalmente diferentes produzindo estes padrões de reflexão também eles diferentes. O exemplo simula uma fonte de primeira ordem reproduzindo um impulso Dirac numa sala retangular. A figura mostra os primeiros 50ms do sinal no *sweetspot* num sistema de altifalantes Auro 3D. A imagem de cima mostra os padrões de reflexão gerados por um array de nove canais semelhante ao OCT (OCT mais quatro microfones super-cardióides apontados para cima).

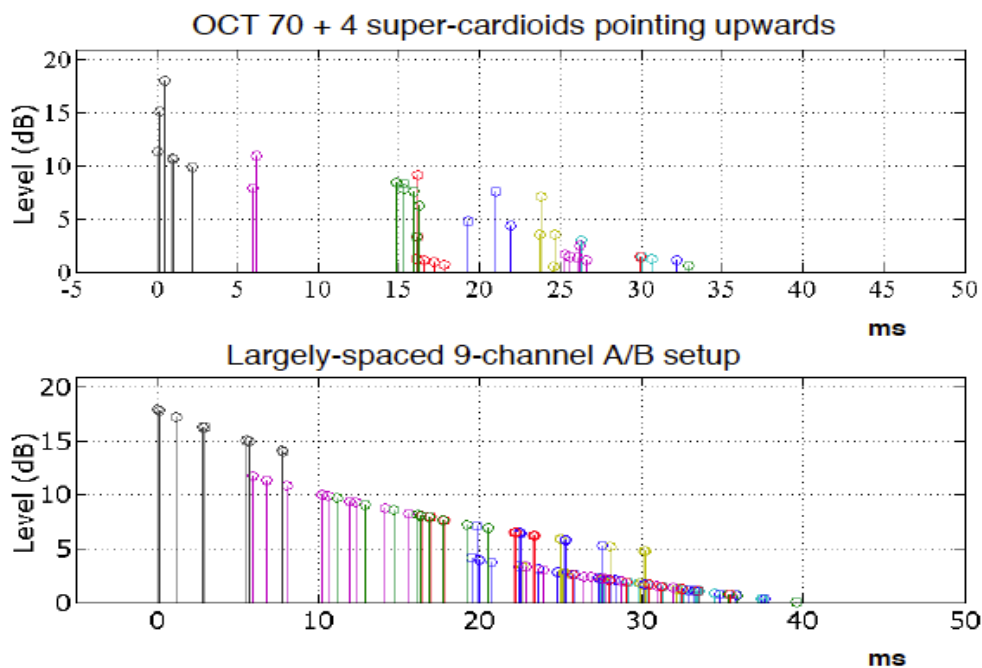


Figura 29 - Padrões de reflexão dentro do *sweetspot* de um array de altifalantes Auro 3D, gerado através da utilização de dois *arrays* de microfones diferentes. Os *arrays* gravam a mesma fonte numa sala adequada. "AES 130 Theile Wittek"

O som direto (bolas pretas) e as reflexões produzidas na sala de gravação são reproduzidas com grande clareza e sem qualquer tipo de *crosstalk*. A segunda imagem mostra-nos um *setup* A-B de nove canais muito mais espaçado. As condições são completamente diferentes: neste *setup* as reflexões discretas são quase inexistentes, por outro lado a reverberação aumenta rapidamente. Até mesmo o sinal direto possui um carácter reverberante; tal não é necessariamente negativo: gravando em espaços onde a reverberação é longa onde o campo difuso (ambiente) domina a experiência auditiva (imaginemos uma igreja), resulta num grande som *surround*; a presença e a estabilidade imagética pode ainda ser melhorada através da utilização de microfones pontuais (microfones extra).

2.11 Design de um microfone principal para Auro 3D

O projeto do microfone para Auro 3D, ou de um microfone para som de fundo (ambiente) que não obrigue à utilização de microfone pontual (microfone extra) precisa de levar em consideração um certo número de aspectos resultantes das considerações anteriores. Um grande número de exigências base são já conhecidas, por exemplo, as regras da direccionalidade da imagem e da percepção espacial. Um aspecto que apenas recentemente emergiu, é a dificuldade cada vez maior de cumprir com todas as exigências de técnicas de captação devido ao número elevado de altifalantes. Por outro lado, seguindo uma abordagem de tentativa e erro é perfeitamente alcançável o resultado pretendido. Isto acontece devido à geração de um sinal positivo na metade superior da sala de audição: devemos contudo evitar a comparação do 5.1 e Auro 3D através da ligação dos altifalantes de altura, ou através de um *downmix*, esta comparação seria errónea. Afinal o ouvinte precisa de se convencer da real mais valia oferecida não só pela performance do artista mas também por técnicas de reprodução inovadoras. Precisamos não só de melhorar a reprodução espacial mas também de procurar ideias inovadoras para a utilização artística dos canais verticais.

3. Dolby Atmos

O sistema Dolby Atmos foi anunciado em Abril de 2012 e rapidamente se tornou o padrão do som para cinema. Este veio proporcionar uma experiência de áudio mais avançada abordando limitações para a criação de áudio verdadeiramente imerso e realista que eram inerentes aos sistemas anteriores. Este sistema conta com novos recursos e ferramentas para melhorar as misturas, distribuição e reprodução de filmes. O sistema Dolby Atmos torna mais flexível a adição de “objetos de áudio” e a renderização de sons acima do ouvinte. Ao contrário do sistema AURO 3D, os misturadores podem colocar elementos sonoros discretos, dentro de uma paisagem sonora, independentemente da configuração dos altifalantes específicos.

O Dolby Atmos simplifica a distribuição ; a essência do áudio e a intenção artística estão armazenados numa faixa dentro do *Digital Cinema Packaging* (DCP), este pode ser reproduzido fielmente em várias configurações disponíveis nas salas de cinema. Com este sistema oferece-se uma nova experiência ao público mais atraente, disfrutando de uma experiência de audição completamente nova, com som envolvente fazendo com que as histórias que são contadas na tela se tornem cada vez mais reais.

3.1 Introdução Cinema Digital

A introdução do cinema digital, proporcionou uma grande oportunidade para a indústria de cinema sobretudo para o som. Com a criação de padrões para o cinema digital, estavam disponíveis dezasseis canais de áudio dentro do DCP, deste modo permitiria uma maior criatividade para os criadores de conteúdos e acrescentado uma experiência auditiva mais envolvente e realista para os ouvintes.

Durante o advento do cinema digital, a indústria estava mais preocupada com os padrões de imagem e segurança do que com o som. Em 2010 foi dado o primeiro passo para melhorar o som no cinema, com a introdução do Dolby *surround* 7.1. Este formato continua a ser o padrão, e tem a possibilidade de

aumentar o número de canais *surround* dividindo os canais esquerdo *surround* e direito *surround* existentes em quatro zonas como podemos ver na figura 30.

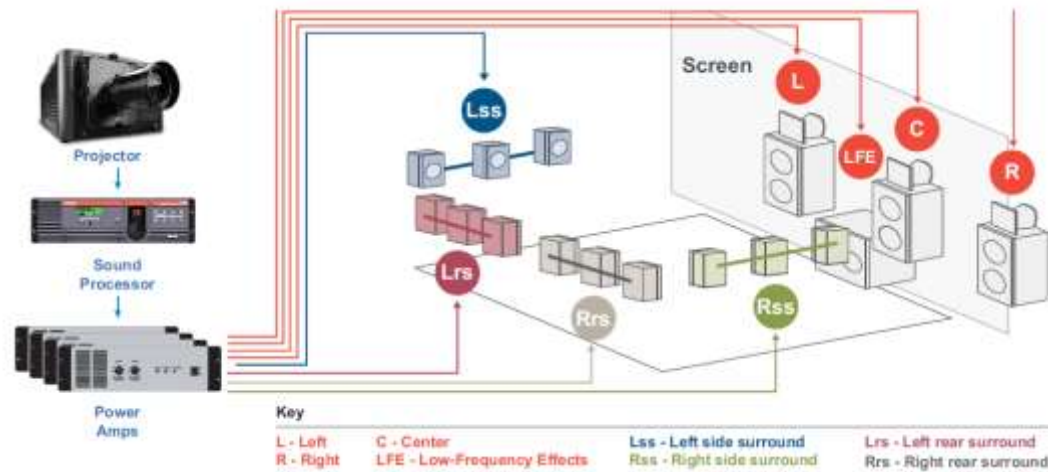


Figura 30 – Sistema Dolby surround 7.1 “Dolby.com”

Consequência disto faz com que os misturadores e *sound designers* tenham mais capacidade para controlar o posicionamento de elementos áudio, juntamente com uma melhoria da panorâmica, fez com que este sistema se tornasse rapidamente um sucesso na execução e instalado em várias salas tornando-se o formato de eleição para as salas de cinema.

Contudo ao longo do desenvolvimento do 7.1 a Dolby continuou a investigar o futuro do som no cinema, trabalhando na procura de um novo formato de áudio. A Dolby equipa várias salas de mistura, com várias configurações de altifalantes para determinar quais os locais onde soam melhor e são mais atraentes para os *sound designers* e misturadores. O áudio de vários filmes foi remisturado e levado para diferentes salas, em vários países, que tinham sido equipadas com várias configurações de altifalantes, a fim de determinar o que era eficaz em termos de tamanho e forma do espaço. Depois disto, os testes foram demonstrados a vários “expositores” (salas de cinema) para obter a sua apreciação sobre o que funcionaria para os seus clientes e o que estariam dispostos e capazes de instalar.

Este ciclo de pesquisa, juntamente com os produtos e tecnologias Dolby, permitiu a segmentação precisa dos requisitos necessários para a próxima geração de som no cinema digital, desde o design e edição de som até à gravação,

distribuição e reprodução nos cinemas. Por exemplo, embora muitos cinemas estejam equipados com cinco canais frontais de reprodução (L, LC, C, RC, R) estes canais raramente são usados. No entanto, em telas de maior dimensão, os canais adicionais podem fornecer panorâmicas mais suaves e um posicionamento de som mais preciso de maneira a corresponder à imagem. Da mesma forma o uso de *array's surround* podem sem dúvida criar um efeito de ambiente apropriado com o conteúdo, a introdução do Dolby *surround* 7.1 demonstrou uma melhoria significativa na localização de som, resultante do aumento de zonas *surround* dentro da sala.

A introdução de um novo formato de áudio permite que as mudanças sejam implementadas sem que se perca a compatibilidade dos sistemas anteriores, tornando-se também uma oportunidade para rever as normas existentes em alguma áreas, otimizando o sistema à medida que a tecnologia evolui.

Esta pesquisa por parte da Dolby, juntamente com a experiência de décadas no desenvolvimento de novos formatos de som para cinema, culminou com a introdução em 2012 do Dolby Atmos. O sistema Dolby Atmos abrange produtos, serviços e tecnologias que se baseiam em tecnologias já existentes para uma experiência de áudio muito além da melhor que estava disponível de momento, o Dolby *Surround* 7.1.

3.2 Visão geral Dolby Atmos

O sistema Dolby Atmos inclui novas ferramentas de trabalho em estúdio, distribuição e reprodução. Este sistema oferece também um novo processador de cinema com um mecanismo de renderização flexível que otimiza a qualidade de áudio, efeitos e banda sonora, para um esquema de altifalantes tendo em atenção as características de cada sala. Além disso, o sistema Dolby Atmos foi projetado desde início para manter compatibilidade com versões anteriores e minimizar o impacto no fluxo de trabalho de produção e distribuição atuais.

Os quatro elementos que melhoram significativamente a experiência do público em relação aos sistemas 5.1 e 7.1 são:

- Maior imersividade;
- Sons de origem superior (1);
- Melhoramento da qualidade de áudio e no emparelhamento tímbrico(2);
- Maior controle espacial e resolução(3);

1 - Sons de origem superior

No mundo real, os sons têm proveniência de diferentes fontes e direções, e não só apenas do plano horizontal, pelo que obtemos um maior realismo se o som puder ser ouvido de cima “hemisfério superior”. Um primeiro exemplo disto, é o som de uma cigarra em cima de um pinheiro no meio de uma mata densa. Neste caso, colocar este num plano superior pode criar maior envolvimento ao ouvinte dentro de uma cena. Outro exemplo é um helicóptero que sobe na imagem e voa sobre a audiência, com o uso de zonas *surround* mais discretas como o Dolby *surround* 7.1, ajuda a perceber o movimento de frente para traz, e adicionando altifalantes mais altos dá uma impressão mais convincente do helicóptero que se desloca .

2 - Melhoramento da qualidade de áudio e no emparelhamento tímbrico

Além dos benefícios espaciais, a qualidade de áudio dos sistemas Dolby Atmos é uma melhoria em relação aos sistemas já existentes de multicanal.

Tradicionalmente, os altifalantes *surround* não suportam a mesma resposta de frequências quando comparados com os altifalantes centrais. Além disto, o nível de pressão sonora calibrado para os canais *surround* nos formatos de multicanal anteriores é menor do que para os canais centrais. Como resultado, qualquer som que passe dos canais centrais para os laterais *surround* baixa o nível de volume. Historicamente, isto cria problemas aos misturadores reduzindo-lhes a capacidade de mover livremente sons de gama completa dos canais centrais para os laterais. Como resultado, os proprietários das salas de cinema não se sentiram obrigados a atualizar as configurações do canal *surround*, o que impediu a adoção generalizada de instalações de alta qualidade.

A qualidade tímbrica de alguns sons, como o assobio de uma panela de pressão, pode sofrer se for reproduzido por uma variedade de altifalantes. A capacidade de direcionar sons específicos para um único altifalante dá ao misturador a oportunidade de eliminar os artefactos da reprodução de matrizes e desta maneira oferece uma experiência mais realista ao ouvinte.

O Dolby Atmos melhora a qualidade de áudio em diferentes salas através de benefícios tecnológicos como a equalização da sala e dos graves *surround*, para que o misturador possa fazer uso de todos os altifalantes (*on* ou *offscreen*) sem preocupação sobre a correspondência tímbrica.

3 - Maior controlo espacial e resolução

Durante muitos anos, o cinema beneficiou dos canais discretos na forma “esquerdo, centro, direito” e ocasionalmente esquerdo interior e direito interior. Estas fontes discretas têm uma resposta de frequência suficiente e um controlo de potência para que os sons sejam colocados com precisão em diferentes áreas da tela, permitindo a correspondência de timbre à medida que os sons são movidos ou “paneados” entre locais.

Numa configuração 5.1, as zonas envolventes compreendem uma matriz de altifalantes, todos possuem a mesma informação de áudio dentro de cada zona *surround* esquerda ou direita. Estes arranjos são particularmente eficazes com ambientes ou efeitos *surround* difusos. No entanto, no nosso quotidiano, muitos sons têm origem em fontes naturais e artificiais. Podemos considerar estar sentados numa cadeira num barbeiro: além da música ambiente que se ouve, sons subtis e discretos têm origem de pontos específicos: uma pessoa que faz o pagamento num ponto da sala, o ruído de um encaixe de lâminas, uma pessoa que lava o cabelo. Ser capaz de colocar tais sons discretamente em torno da sala ajuda a criar uma sensação de presença real. Um exemplo menos subtil, um disparo de um tiro fora de campo. Ser capaz de identificar este som abre novas possibilidades. O aumento da resolução da configuração do sistema Dolby *surround* 7.1 ajuda a aumentar a semelhança destes efeitos, mas a capacidade de

identificar individualmente altifalantes *surround* além das matrizes 7.1 leva o realismo a um novo nível.

O papel fundamental do som no cinema é apoiar a narrativa e desenvolver linhas sensoriais de apoio. O sistema Dolby Atmos suporta vários canais centrais, resultando numa maior coerência audiovisual para sons centrais ou dialogo. A capacidade de posicionar precisamente fontes em qualquer lugar nas zonas *surround* também melhora a transição de audiovisual da tela para a sala. Se uma personagem olha para dentro da sala em direção a uma fonte de som, o misturador tem a capacidade de posicionar o espectador (ver figura 31). Uma maior resolução *surround* cria novas oportunidades para usar o som de uma forma centrada no ambiente. Esta abordagem é uma inovação importante, muito diferente da abordagem tradicional em que o conteúdo é criado assumindo um único ouvinte no *sweet spot*.

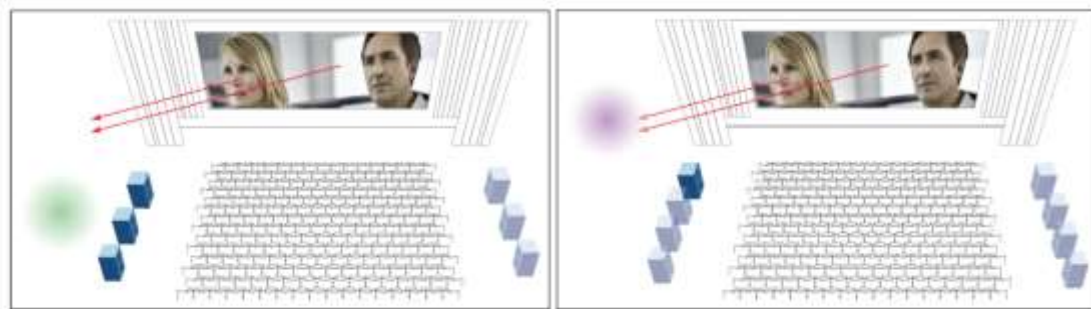


Figura 31 - Imagem da esquerda: sistemas multicanal. Imagem da direita: possibilidades do sistema Dolby Atmos "Dolby.com

3.3 Intenção criativa

Para colocar o som com precisão em torno da audiência, o misturador precisa de mais controlo. Para fornecer este controlo é necessária uma mudança na emissão dos conteúdos, misturando e reproduzindo através do uso de “objetos de áudio” e dados posicionais ou metadados.

Os “objetos de áudio” podem ser considerados como grupos de elementos sonoros que partilham a mesma localização no espaço. Estes objetos podem ser estáticos ou móveis, são controlados por metadados que entre outras coisas, detalham a posição do som num determinado ponto na linha do tempo. Quando os objetos são monitorizados ou reproduzidos numa sala, eles são processados de acordo com os metadados de posição usando os altifalantes presentes, ao invés de serem enviados para um canal físico. Pensar em objetos de áudio é uma mudança de paradigma em comparação com a anterior forma de manipulação, pós produção de som.

Assim o conteúdo colocado na tela pode ser feito da mesma forma que o conteúdo baseado em canais, embora o conteúdo colocado nas laterais possa ser processado por um altifalante individual se assim for necessário. Embora o uso de objetos de áudio forneça o controlo desejado para efeitos discretos, outros aspectos da banda sonora de um filme também funcionam num ambiente baseado em canais ao invés do uso de objetos de som feito pelo Dolby Atmos. Por exemplo, muitos efeitos-ambiente e reverberações podem ser tratados como objetos com largura suficiente para preencher um *array*. É benéfico reter alguma funcionalidade baseada em canal.

O sistema Dolby Atmos suporta *beds* além de objetos de áudio. Estas *beds* são efetivamente canais baseados em *submixes* ou *stems*. Estes podem ser mantidos como camadas *stems* separados ao longo do processo de mistura ; estas são combinadas numa única camada como parte do processo da cópia final. Estas camadas podem ser criadas em diferentes configurações de canais, tais como 5.1, 7.1 incluindo *array's* de altifalantes superiores.

3.4 Otimização durante o rendering

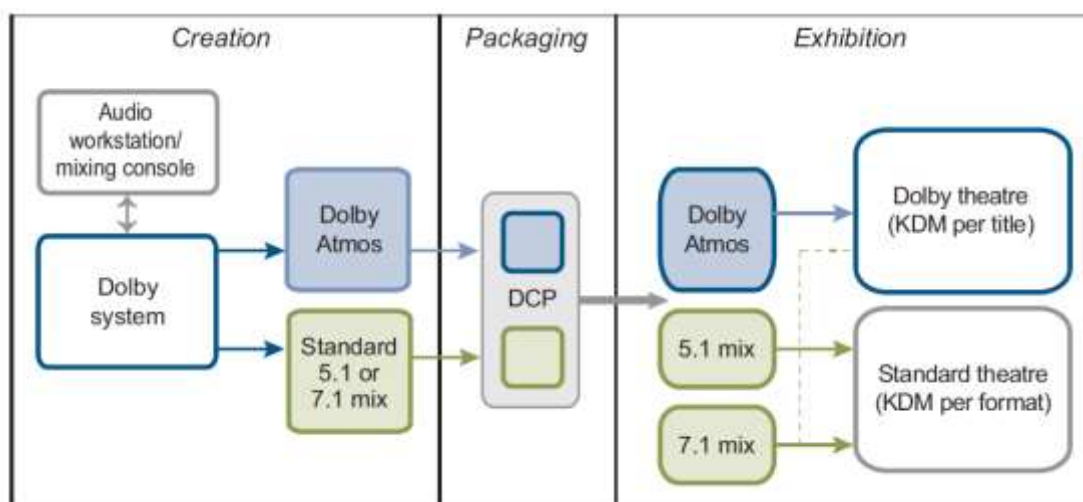


Figura 32 - Esquema de render Dolby Atmos

As ferramentas Dolby Atmos permitem o uso de 128 faixas : numa *bed* de 9.1 até 118 objetos, o processador processa o conteúdo de acordo com o tipo de sinal. Os canais *beds* são mapeados para os altifalantes individuais (no caso dos canais centrais) ou para *arrays* de altifalantes. Os objetos são renderizados em tempo real com base na localização física dos altifalantes. O processador de Dolby Atmos atribui atrasos e equalização a canais, objetos e altifalantes para que haja uma maior qualidade e consistência na reprodução.

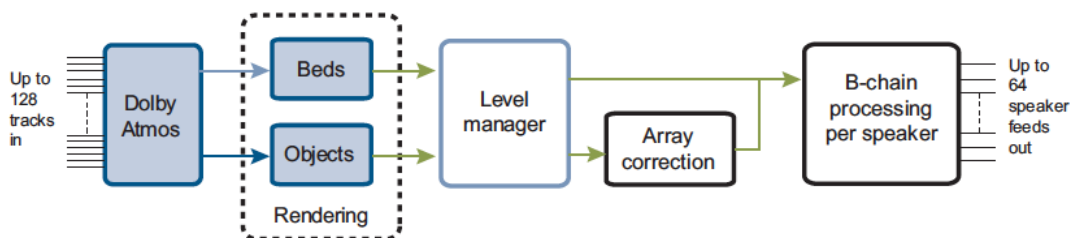
O processador Dolby Atmos suporta uma renderização de *beds* e objetos até 64 saídas de altifalantes.

O algoritmo de renderização também leva em consideração a capacidade de resposta de frequências do sistema de altifalantes. Além disso a gestão de graves nos altifalantes *surround* através da instalação de *subwoofer* traseiros, opcionais, permite que cada altifalante *surround* possa atingir uma maior gestão de potência e o uso de outros com dimensões mais pequenas.



Organograma 1- Esquema de render Dolby Atmos “ Dolby.com”

Finalmente, a adição de altifalantes *surround* mais perto da tela, ao contrário dos sistemas anteriores garante uma melhor transição dos objetos dos altifalantes centrais para os *surround*. De notar que estes altifalantes *surround* laterais adicionais não são usados para reproduzir conteúdos destinados a uma matriz *surround* (como por exemplo na saída processada Dolby *surround* 7.1 ou 5.1) como parte de um *mix* Dolby Atmos. A partir do sistema 9.1 é possível usufruir deste novo array, sem que os sistemas Dolby *surround* 5.1 e 7.1 sejam comprometidos.



Organograma 2- *Workflow* Dolby Atmos “Dolby.com”

3.5 Dolby Atmos no estúdio

O modelo híbrido das *beds* e objetos permite que a maioria dos projetos de som, edição, pré- mistura e mistura final, sejam executados da mesma maneira que era feito em formatos anteriores.

Os vários *Plug-ins*, juntamente com atualizações de *software*, e consolas de mistura avançadas, permitem que as técnicas de panorâmica existentes e edição de som permaneçam inalteradas, deste modo é possível colocar as *beds* e objetos nos postos de trabalho equipados com 5.1.

Processos no estúdio:

- o áudio e os metadados dos objetos são gravados na sessão e são preparados para a pré-mistura e mistura final;

- Os metadados são integrados na consola de trabalho, permitindo que os *faders* dos canais, panorâmicas e processamento de áudio possam controlar as *beds* ou *stems* e os objetos de áudio. Estes metadados podem ser editados usando a consola ou interface já existente, sendo que o som é monitorizado usando uma unidade de renderização e masterização da Dolby (RMU);
- Os áudios das *beds*, objetos e metadados associados são gravados durante a sessão de masterização para criar uma cópia final, esta inclui um *mix* Dolby Atmos e quaisquer outros renders (Dolby *Surround* 5.1 e 7.1). Esta cópia final do Dolby Atmos é finalizada em MXF (Material Exchange Format) que é o padrão da indústria.
- Esta cópia é entregue aos *Data Managers*, que vão usar técnicas de DCP, permitindo a validação dos arquivos antes da embalagem final seguir para os expositores.

3.6 Música em Dolby Atmos

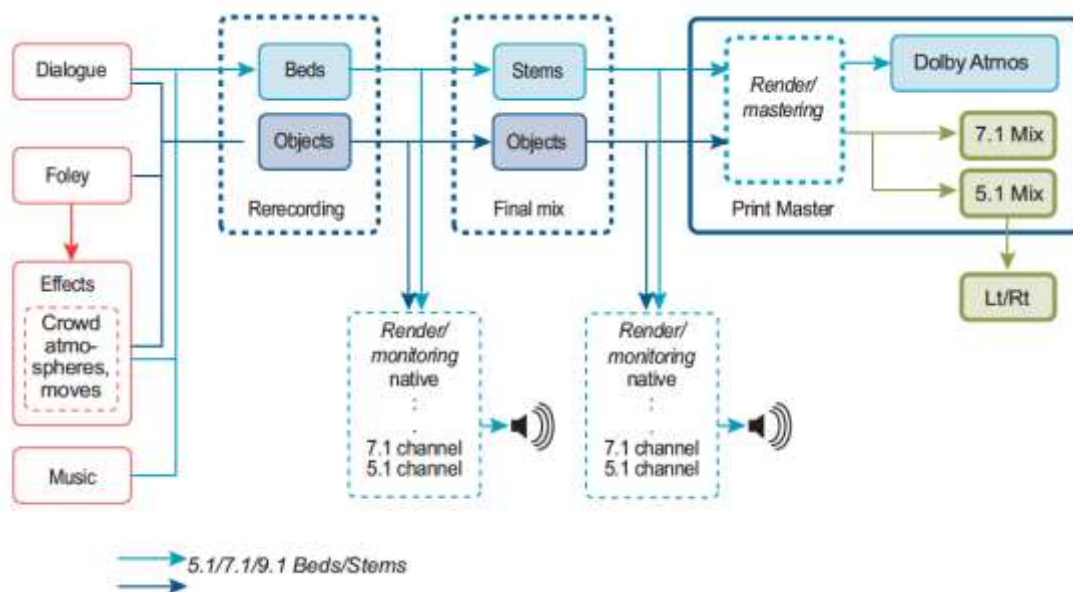
O uso de altifalantes *surround* com gama completa de frequências, permite que os misturadores localizem a música “fora” dos altifalantes centrais. Esta panorâmica mantém o mesmo timbre e fidelidade que os altifalantes centrais. Agora existe também, e pela primeira vez, a possibilidade de colocar as faixas de música em objetos, movendo-os *offscrean*, melhorando substancialmente a percepção da música aumentando a percepção/envolvimento do ouvinte. Além disto, mover a música *offscrean* liberta os altifalantes centrais para efeitos de áudio e torna mais claras as faixas de diálogo.

3.7 Masterização

Durante a sessão de masterização, os canais, objetos e metadados são incorporados num único pacote Dolby Atmos, que é finalizado em estúdio e entregue aos exibidores/distribuidores.

O RMU (*Rendering and Mastering Unit*) pode renderizar as misturas baseadas em canais, eliminando assim outras etapas de trabalho. Os ficheiros são arquivados em MXF minimizando o risco de alterações.

Como é de conhecimento ao longo de vários anos, os estúdios são equipados, calibrados e certificados pela Dolby tal e qual como as salas de cinema. Além de renderizar as entregas baseadas em canais, a cópia final do Dolby Atmos pode ser usada para fazer outras entregas, que suportam tecnologias anteriores – stereo, 5.1 e 7.1.



Organograma 3- Processos em estudo desde a montagem até á cópia final em sistema Dolby Atmos “Dolby.com”

3.8 Considerações Sala de Cinema

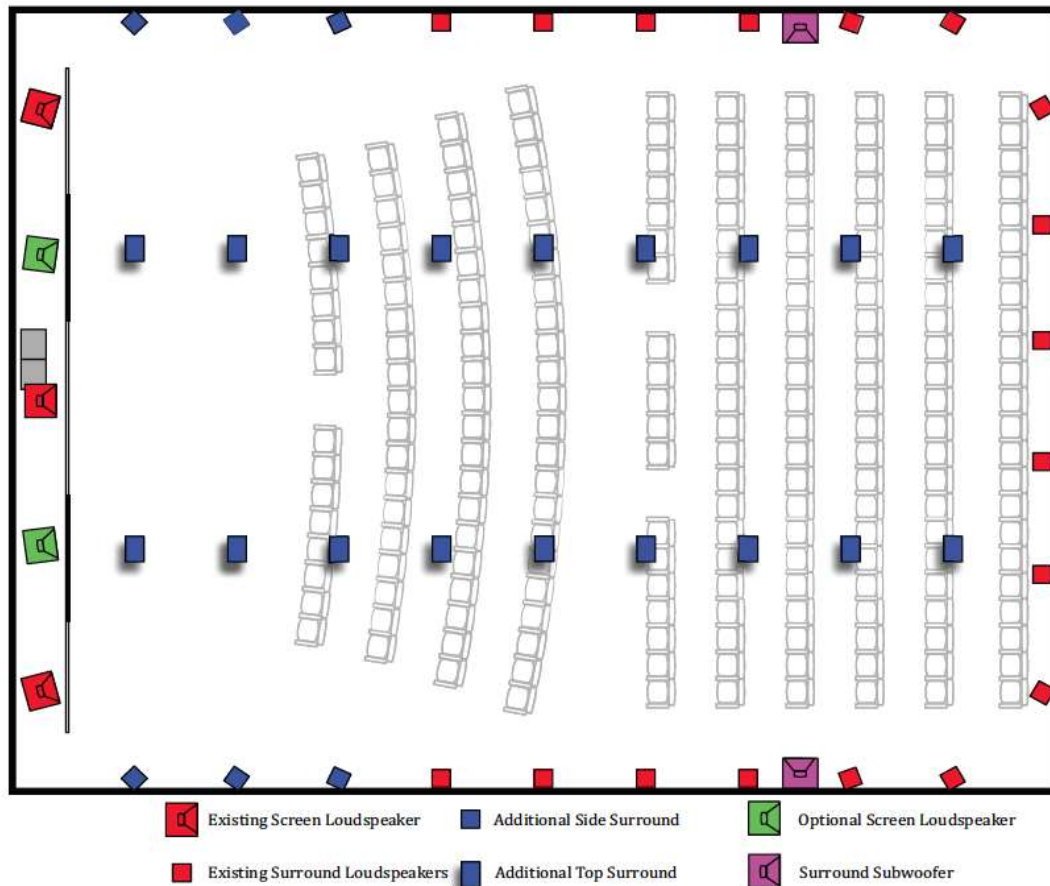


Figura 33 - Configuração de sala de cinema com sistema Dolby Atmos “Dolby.com”

A introdução de novas tecnologias é sempre um factor crítico no lançamento de um novo formato de áudio, dependendo esta da maior ou menor resistência que a indústria de distribuição oferece aos novos formatos.

Antes da aparição do Dolby Atmos, passámos por várias transições nas salas de cinema, 2.0, 5.1 para 7.1 da Dolby que dominam a indústria, e sistemas como o Auro 3D ou 9.1, 11.1, 13.1 que nunca apresentaram grande relevância.

A Dolby disponibiliza diferentes *layouts* para salas devidamente certificadas, de maneira a garantir aos criadores de conteúdos que o som ouvido em sala corresponde ao trabalho tido em estúdio.

O número de saídas de altifalantes varia de acordo com o tamanho e a forma da sala.

O primeiro processador da Dolby, o Atmos CP850, pode suportar até 64 saídas. Embora o número de saídas possa parecer excessivo quando comparados com configurações já existentes, os amplificadores Dolby trabalham bem com o elevado número de altifalantes.

3.8.1 Altifalantes Centrais

Com base em várias investigações sobre a percepção da imagem auditiva nos altifalantes centrais, a Dolby descobriu que dois altifalantes adicionais ao lado dos centrais – centro esquerdo (LC) e centro direito (RC) como já era usado no formato magnético de 70mm com seis pistas - pode ser benéfico na criação de panorâmicas mais suaves em telas grandes. Consequentemente a Dolby recomenda a instalação destes altifalantes adicionais, particularmente em salas com telas superiores a 12m. Todos os altifalantes devem ter um ângulo tal que aponte para a posição de referência da sala.

A colocação recomendada do *subwoofer* atrás da tela permanece inalterada face aos anteriores sistemas, mantendo-se esta colocação assimétrica, de modo a prevenir o aparecimento de ondas estáticas. Se estiver ao centro aumenta o número das reflexões idênticas na sala que resulta num aumento de ressonâncias nas frequências isoladas.

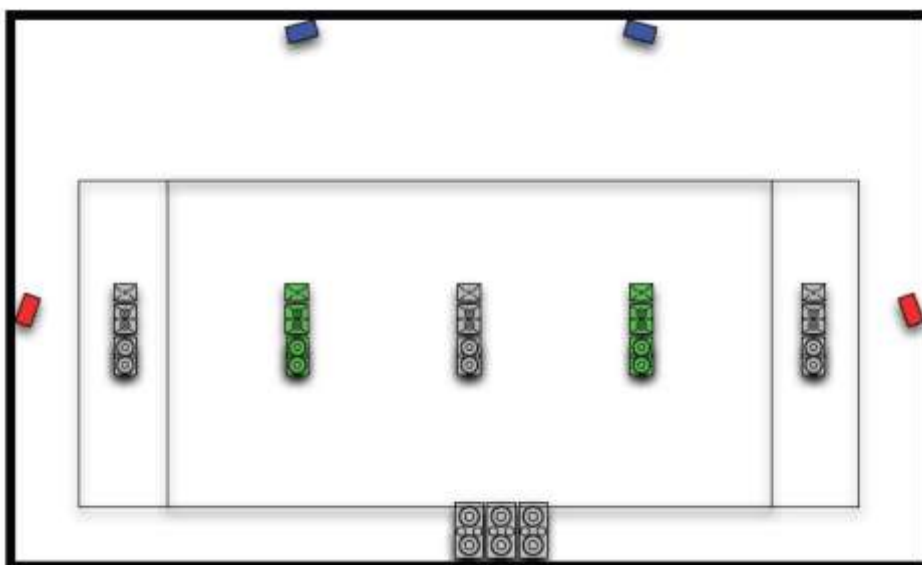


Figura 34 - Layout de altifalantes centrais Dolby Atmos “Dolby.com”

3.8.2 Altifalantes *Surround*

Os altifalantes *surround* são ligados individualmente à *rack* de amplificação e amplificados individualmente com um canal dedicado. Idealmente, os altifalantes *surround* devem suportar um *SPL*(*nível de pressão sonora*) mais elevado, com uma resposta de frequências mais ampla e uma cobertura uniforme da plateia. A maioria dos altifalantes *surround* não respondem bem a baixas frequências. De maneira a resolver este problema o processador Dolby Atmos, faz uma gestão de graves *surround*, os sinais são opcionalmente encaminhados para as saídas dedicadas – subwoofer *surround*, colocados à esquerda / direita da sala.

3.8.3 Altifalantes de Transição *surround*

Para permitir uma transição suave para a tela ou vice-versa, os altifalantes *surround* devem ser colocados ao longo das paredes laterais até à tela. Figura 35

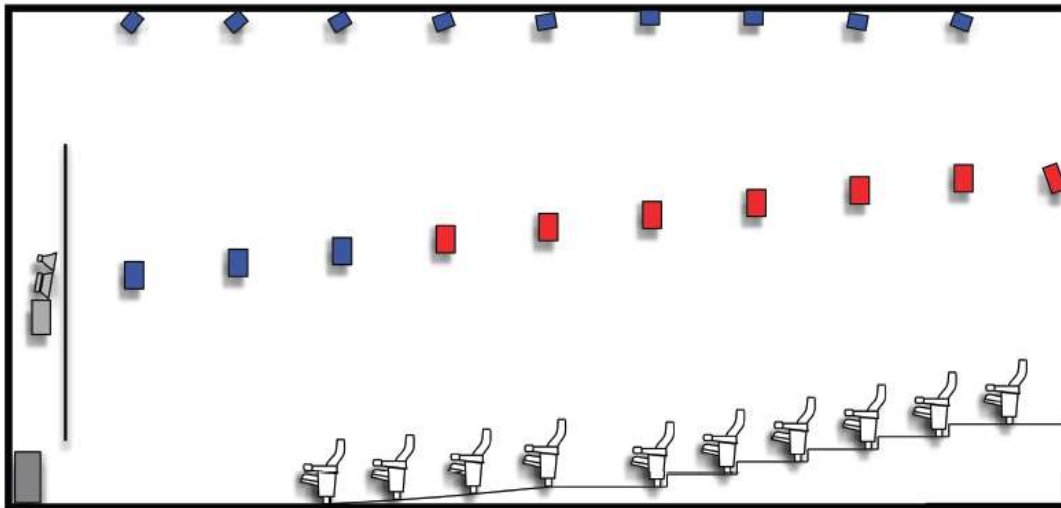


Figura 35 - Layout de altifalantes *Surround* Dolby Atmos “Dolby.com”

3.8.4 Altifalantes superiores

Os altifalantes superiores devem usar dois *array's*, da tela para a parede traseira. Estes devem ser posicionados em alinhamento, ou ligeiramente mais afastados que os canais LC e RC. Devem ser colocados sempre simetricamente em relação ao centro da tela, estes à semelhança dos altifalantes de surround lateral devem ser colocados o mais próximo da tela.

4. Desenvolvimento e aplicações de técnicas de gravação multicanal *stereo* para 3D Áudio e VR

Os engenheiros de som que trabalham com 3D Áudio, muitas vezes têm a tarefa difícil de escolher a melhor técnica de gravação adequada ou o array. O número de canais é maior do que em sistemas para gravar o plano horizontal, logo também a sua complexidade aumenta.

Existem vários sistemas de reprodução 3D Áudio, logo também as técnicas de gravação podem ser diferentes. Para o campo sonoro a solução passa por *arrays* de multicanal, enquanto que para o 3D *stereo* a norma é a utilização de técnicas de captação *stereo*. Para uma gravação Binaural no caso mais simples podemos usar uma cabeça fictícia. Mas todos estes sistemas partilham o mesmo requisito ao gravar fontes de som complexas, como o som ambiente: devemos usar técnicas *stereo*, estas oferecem-nos som de elevada qualidade e grande eficiência por canal. É impraticável uma reprodução de elevada qualidade de um som proveniente de um grande coro ou de ambientes complexos, através da compilação de fontes isoladas a partir de microfones separados, da mesma forma, que os *array's* de microfone multicanal para sínteses de campo sonoro, como Ambisonics de ordem superior (HOA) ou sínteses de campo de onda ficam aquém do pretendido. Na prática porque a sua eficiência de canal e qualidade sonora são muito baixas, por outro lado se o número de canais é reduzida, Ambisonics de primeira ordem, a qualidade fica comprometida.

Para a reprodução Binaural, o sistema da cabeça artificial é claramente a solução mais simples, mas não produz por si só resultados compatíveis com os

óculos de realidade virtual (VR), nos quais os sinais binaurais devem responder aos movimentos da cabeça do utilizador. Isto só é possível através da binauralização de um *array stereo*, técnica esta que já está bem estabelecida no áudio para videojogos.

4.1 Ambisonics de primeira ordem para 3D Áudio

Se me perguntassem qual o método ou técnica que escolheria para gravar 3D Áudio para VR, responderia Ambisonics, mas depois de ler e estudar mais técnicas não sei até que ponto estou certo. O sistema Ambisonics já existe há muitos anos, mas como acontece com a síntese do campo de onda, este funciona apenas com uma certa resolução espacial ou ordem, por esta razão temos bem distintos Ambisonics de primeira ordem e Ambisonics de ordem superior (HOA).

O sistema Ambisonics de primeira ordem não consegue reproduzir 3D Áudio sem erros, uma vez que a sua engenharia se baseia apenas para um espaço de escuta do tamanho de uma bola de ténis, embora as características da estereofonia se apliquem aqui, um microfone Ambisonics de primeira ordem não é mais que um microfone coincidente com as vantagens da simplicidade, pequeno número de canais de gravação, flexibilidade; e desvantagem deficiente qualidade espacial.

A criação de um microfone Ambisonics para estúdio, com elevada resolução espacial é ainda um problema por resolver. Os microfones Ambisonics de estúdio são todos de primeira ordem, logo a sua resolução é apenas adequada para o *surround* 5.1, e muito baixa para 3D Áudio. Isto torna-se evidente na baixa separação de sinal entre canais, assim como a qualidade insuficiente na espacialidade reproduzida.

O Ambisonics é um bom formato para o armazenamento de todos os tipos de sinais espaciais, tendo em consideração se a ordem é suficientemente alta. Um formato de gravação com apenas quatro canais (primeira ordem Ambisonics), degrada qualquer gravação 3D Áudio, pois o *mixdown* para quatro canais destrói a separação do sinal 3D. O Ambisonics oferece um formato de armazenamento simples e flexível para vídeos 360°. De forma a alterar a perspectiva precisamos

apenas de ajustar os valores variáveis do Ambisonics, em conjunto com os previamente mencionados microfones de primeira ordem.

Como resultado a maioria das vantagens da primeira ordem Ambisonics não são sequer consideradas. Pelo contrário todas as suas desvantagens (qualidade espacial e *crosstalk* entre sinais nos Altifalantes virtuais) tornam-se mais evidentes.

Em termos práticos, se nos for permitido a utilização de uma maior combinação de microfones, então o *setup* ORTF 3D pode ser uma excelente opção em vez de um microfone Ambisonics para VR.

4.2 Critérios para Arrays stereo

Os *arrays* Stereo são a escolha principal para todos os formatos 3D ; os requisitos para 3D Áudio são os mesmos que no *stereo* de dois e cinco canais:

- 1 - Separação de sinal entre todos os canais de forma a evitar o *comb filtering*;
- 2- níveis ou diferenças de tempo de chegada entre canais adjacentes para criar as características pretendidas na imagem;
- 3 - Decorrelação do som do campo difuso, para melhor envolvimento e qualidade do som;

As exigências que falo acima ainda são fáceis de cumprir no *stereo* de dois canais; uma disposição adequada de dois microfones e dois canais independentes pode proporcionar a curva da imagem desejada.

No *stereo* de cinco canais, as exigências mencionadas são claramente mais difíceis de atingir. Cinco canais independentes, não podem ser obtidos com qualquer arranjo coincidente de microfones de primeira ordem. Um arranjo coincidente, como o Ambisonics de primeira ordem pode ser um compromisso para o 5.1, embora altamente viável devido as suas vantagens compactas e flexibilidade na pós produção.

Uma solução ótima para gravação de ambientes em *stereo* multicanal é o sistema ORTF *surround*, em que quatro super-cardióides estão dispostos em forma de retângulo com 10 X 20 cm de comprimento e largura. Estas distâncias ajudam com a decorrelação e trazem uma impressão sonora à sua abertura espacial. Os sinais dos microfones são discretamente encaminhados para os canais L, R, LS, RS. A separação do sinal em termos de nível é de +/- 10 db, deste modo a imagem sonora durante a



Figura 36 – Schoeps ORTF Surround – Schoeps.com

reprodução é estável mesmo em posições de escuta fora do eixo.

Com oito ou mais canais a disposição dos microfones torna-se muito mais difícil se os requisitos mencionados forem cumpridos. O método mais simples para manter a separação de sinal é configurar oito ou mais microfones distantes uns dos outros. Um arranjo de nove canais “Decca Tree” é muito adequado para certas aplicações (espaços controlados) se pensarmos na sua usabilidade em exteriores a sua grande desvantagem é a sua usabilidade prática. Por outro lado o tamanho do arranjo é maior do que dois metros de largura, e a separação do sinal em termos de diferença de nível é quase zero; todos os sinais estão disponíveis em todos os altifalantes. Deste modo este array pode representar um espaço bonito, difuso mas a reprodução direcional estável não é alcançada além do *sweet spot*, mas pode ser compensada com a adição de microfones pontuais.

4.3 Método de gravação ORTF 3D

Para uma gravação de oito canais podemos usar o sistema ORTF 3D, desenvolvido por Helmut Wittek e Gunter Theile em 2015. Este sistema é mais ou menos uma duplicação do sistema ORTF surround em dois planos. Existem quatro super-cardióides em cada nível (superior e inferior), que forma retângulos com comprimentos laterais 10 X 20 cm. Os dois arranjos são colocados diretamente um sobre o outro como podemos ver na figura - 37.

Assim é formada uma disposição de oito canais, onde as imagens no plano horizontal correspondem aos sistema ORTF *surround*.

Os sinais dos microfones são discretamente encaminhados para quatro canais no nível inferior (L, R, LS, RS) e quatro para o nível superior (LH, RH, LSH,



Figura 37 – Schoeps ORTF 3D – Schoeps.com

RSH). Em aplicações VR as posições dos altifalantes virtuais são “binauralizados”.

A imagem na dimensão vertical é produzida pela inclinação dos microfones em pares X/Y a 90º super-cardioides. A disposição coincidente de dois canais é possível devido à alta direccionalidade dos super-cardioides, qualidade da imagem e decorrelação do campo difusão são boas.

4.4 Conversão para Dolby Atmos e Auro 3D

Como já referi anteriormente os oito canais do ORTF 3D são L, R, LS, RS para o nível inferior, e LH, RH, LSH, e RSH para o nível superior, estes são encaminhados para oito canais de reprodução discreta. O canal central permanece desocupado, este raramente é desejado na gravação de ambientes ; distorceria o equilíbrio da energia entre a frente e a retaguarda e exigiria distâncias muito maiores entre os microfones, de modo a manter a separação do sinal necessária.

Em Auro 3D os canais dos altifalantes L, R, LS, RS , LH, RH, LSH, e RSH, são “alimentados”.

No sistema Dolby Atmos é igualmente simples; os canais L, R, LS, e RS correspondem ao nível *surround* as chamadas “*beds*”, enquanto que os canais superiores são colocados como objetos estáticos, nos quatro cantos superiores do espaço cartesiano, estes são então processados na reprodução através dos altifalantes frontais ou traseiros correspondentes.

4.5 Conversão para VR

Em ambiente VR, o vídeo 3D e o som Binaural são reproduzidos através de óculos VR e auscultadores, em que a posição da cabeça e a rotação são processadas em tempo real.

Os vídeos 360º podem conter som Binaural, mas apenas a rotação da cabeça é processada, não a posição da cabeça. Se o som Binaural é para responder aos movimentos da cabeça, a cabeça fictícia não deve ser usada como método de gravação, uma vez que permite apenas um ângulo da cabeça. Em vez disso os seguintes componentes de som são reunidos e montados separadamente:

- . Objetos de Áudio
- . Filtros Binaurais HRTF

Normalmente o objeto de áudio, imaginemos o som de uma personagem num jogo, é uma única fonte com uma certa distância e direção 3D. Este som é mais tarde processado através de filtros Binaurais e de sala dependendo da sua direção, esta é determinada pela posição do objecto de áudio e pela posição e rotação da cabeça do ouvinte / utilizador.

O sinal de fundo, neste caso o som ambiente, é uma fonte de áudio muito especial, não pode ser mapeado para uma única fonte pontual. Poderia ser produzido pela sobreposição de numerosas fontes de áudio, mas muitas vezes isto seria ineficiente (árvores numa floresta) ou impossível (ambiente ao vivo).

Deste modo um dispositivo de áudio que forma um *array* de altifalantes virtuais é utilizado de maneira a reproduzir uma gravação *stereo* do ambiente. Estes grupos de altifalantes podem ser escolhidos a partir de uma predefinição 3D, configuração Dolby 5.1.4 ou a configuração Auro 3D 9.1, sem altifalante central. Se nenhuma predefinição estiver disponível, pode definir-se um cubo em torno do ouvinte.

5. Conclusões

Ao longo dos últimos dez anos temos assistido a uma evolução nas ferramentas disponíveis para gravação e tratamento/manipulação do som. Desde que os sistemas informáticos adquiriram potência para lidar com ficheiros grandes tem surgido uma multiplicidade de ferramentas para este tratamento/manipulação. Contudo, e ao contrário do que se poderia pensar, nada é realmente novo: a novidade reside isso sim na facilidade e economia de meios e tecnologias que até agora ou não estavam disponíveis de todo ou pura e simplesmente eram demasiado dispendiosos para serem utilizados.

Em cem anos assistimos ao aparecimento constante de novos sistemas/métodos de gravação e edição do som. Ao longo desta dissertação foi curioso constatar que apesar dos diferentes sistemas e versões e atualizações, nunca acontece um corte radical com o que é pré existente, verificamos que nestes cem anos o caminho tem sido sobretudo um caminho de evolução e não de revolução.

Ao longo do desenvolvimento da dissertação e pesquisa, fui dia após dia aprendendo mais, sempre que me aparecia um termo novo ou um conceito que desconhecia mais profundo e complexo se tornava, o que me fez desenvolver ainda mais o tema que estava a escrever. Todos os tópicos que falo ao longo da dissertação foram aparecendo durante o desenvolvimento, alguns eram totalmente desconhecidos, de outros tinha pouca informação.

Foi importante perceber que no final do século XIX, foram feitos estudos experimentais e teóricos sobre psicoacústica direcional, em particular por Lord Rayleigh, aka John Strutt, estudos estes que nos acompanham até aos dias de hoje. Assim como a utilização de técnicas posteriormente desenvolvidas como o Binaural, par Blumlein, Quad, Ambisonics, Arrays de microfones, todas elas se mantêm perfeitamente atuais nos sistemas que utilizamos hoje, quer em ambientes domésticos, quer na distribuição em sala.

Nos testes em anexo, procurei usar todas as técnicas abordadas, desde gravação Binaural, onde usei esta técnica para um caso de estudo do Comité Paraolímpico de Portugal, em que a ideia principal era sentirmos estar a treinar

com um atleta. Para as gravações, usando a técnica de Blumlein, desloquei-me até à estação da Parede na linha de comboio de Cascais. Esta ação era importante por ser uma referencia cinematográfica de aproximação, passagem e afastamento de um objecto (o comboio), mas sobretudo por ser uma forma muito simples e muito direta de perceber este processo de passagem de um objeto e a dinâmica sonora provocada.

Na gravação Stereo utilizei um Par Stereo CCM4 com a técnica XY. Os ambientes que escolhi foi um interior de um ginásio, e um exterior, gravado nos Olivais, em Lisboa, zona com um movimento de transeuntes significativo.

Na utilização do array de 5 microfones cardióide “em altura”, procurei escolher três tipos de ambientes: um ambiente controlado em exteriores, um ambiente num bairro residencial e outro não controlado, com bastante movimento e sons de várias origens com diferentes intensidades. No primeiro optei por escolher a serra de Monsanto, uma clareira rodeada de árvores, perto da estrada; na segunda situação gravei numa zona residencial em Benfica com algum movimento, passam carros, pessoas; e, por fim, na terceira situação gravei no *padock* do Autódromo do Estoril, no decorrer de uma prova de automobilismo. O que é interessante perceber nesta técnica, é conseguir perceber a origem dos sons, seja ela frontal ou traseira.

Na utilização da técnica Decca Tree, gravei a orquestra da Fundação Gulbenkian, usei no microfone central um Neumann U87 sendo os microfones laterais dois microfones cardióides Schoeps CCM4. Para pontuar os naipes de instrumentos colocados na penúltima fila da esquerda e direita usei também dois microfones cardióides Schoeps CCM4. Apesar de alguma expectativa acerca desta técnica nunca esperei que os resultados produzissem um palco sonoro tão perfeito. É surpreendente perceber que uma técnica desenvolvida nos anos cinquenta do século XX é ainda hoje uma das técnicas mais usadas para a captação de orquestras e coros, podendo também ser usada em estúdio para a gravação de instrumentos. O Decca Tree funciona muito bem quando utilizada em sistemas surround.

Na gravação em formato Ambisonics, escolhi vários locais, primeiro comecei por gravar num concerto das comemorações do 25 de Abril de maneira

a conseguir integrar o som captado com a imagem 360º, o mesmo com a gravação na manifestação do 25 de Abril. Conforme ia usando este microfone mais prazer sentia pelos sons por ele captados. Por esta razão, começou a fazer parte do *kit* de gravações para o meu projeto dissertação. Gravei em vários locais e em diferentes situações para entender como uma técnica tão antiga ainda hoje é bastante atual e cada vez mais procurada. Das várias gravações destaco a captação nas ruas da baixa de Lisboa, o interior da estação do Rossio, a entrada em pista dos carros de corrida no autódromo do Estoril e, por último, a aproximação de um avião ao aeroporto de Lisboa.

Para a minha experiência como operador de som, o desenvolvimento do meu trabalho prático para esta dissertação foi para mim uma grande surpresa, foi, sem dúvida, um grande fonte de informação para a minha vida profissional e pessoal. Adquiri bastantes conhecimentos novos, tendo aprofundado outros que já usava na minha vida profissional. Falo concretamente das questões ligadas à tecnologia dos próprios microfones, as suas características intrínsecas, e também das técnicas e pessoas/engenheiros de Som que ao longo destes últimos cem anos trabalharam e fizeram avançar a tecnologia de captação, gravação e distribuição dos objetos sonoros.

Ao escrever esta conclusão à minha investigação, estou convicto que as tecnologias do som continuarão a sua evolução a par das novas tecnologias, preparando-nos para um espaço mediático em constante mudança e que necessita do som para a imersão dos agentes, seja nas novas plataformas comunicacionais seja no entretenimento e nas indústrias criativas. Isso obrigará também, tal como aconteceu com os primeiros objetos técnicos de gravação e reprodução e novos media, a uma alteração importante nas formas de escuta.

As técnicas abordadas são um mundo fechado, representam um desenvolvimento ao longo da história do som, refletem a procura e descoberta de novos procedimentos e técnicas para uma melhoria do que escutamos, como interagimos com os conteúdos sonoros e como perspetivamos o som no futuro. Tendo por base destas técnicas podem ser desenvolvidas outras, como exemplo disto temos a evolução feita por Michael Gerzon: a partir de um sistema Quad desenvolve o sistema Ambisonics.

Com a constante evolução da tecnologia vamos ter melhoramentos nas cápsulas de microfones, quer no seu processo de fabrico quer na sua disposição interna, audível na otimização da relação sinal/ruído.

O objetivo final que procuramos é a fidelidade máxima. Como em qualquer época a tecnologia tem limitações, mas são estas limitações que ao longo destes últimos cem anos têm colocado o nível de exigência cada vez mais alto, pois se uma tecnologia tem limitações rapidamente são procuradas soluções, outros caminhos que permitam uma resposta assertiva a uma evolução de conceitos cada vez mais exigentes.

Fazer este trabalho, no plano teórico e empírico, correspondeu ao que há muito desejava: entender como a tecnologia age e coage sobre as nossas formas de ouvir e construir uma realidade.

6. Glossário

A

Absorção: qualidade de uma superfície em não refletir uma onda sonora (oposição reflexão).

Acoustic shadowing: é uma área através da qual as ondas de som não se propagam, devido a obstruções topográficas ou interrupção das ondas através de fenómenos como correntes de vento, edifícios ou barreiras sonoras.

Array: arranjo ou esquema de montagem de altifalantes, microfones ou outros dispositivos.

B

Binaural: a audição Binaural, permite determinar a origem e a direção dos sons. É uma técnica de gravação e reprodução de som. Para a gravação são colocados dois microfones acoplados a uma cabeça modelo ou outro dispositivo, os microfones devem ser colocados na posição do ouvido externo (orelha). A reprodução tem de ser feita por auscultadores.

C

Cancelamento de Fase: o cancelamento de fase ocorre quando dois sinais da mesma frequência estão fora de fase um com o outro. Se dois sinais idênticos forem 100% ou 180 graus fora de fase, eles vão cancelar-se mutuamente quando combinados. Quando sinais complexos semelhantes, imaginemos o canal esquerdo e direito de uma faixa musical stereo são combinados, o cancelamento de fase fará com que algumas frequências sejam anuladas, enquanto que todas as outras podem acabar por se destacar.

Câmaras Anecóicas: sala projetada para absorver reflexões, tanto de ondas sonoras como de ondas eletromagnéticas. Estas salas também são isoladas de fontes externas de ruído.

Campo de som difuso: um espaço com múltiplas superfícies refletoras ou de pequena absorção de som. Reflexões e difrações de som dentro de um espaço resultam numa boa difusão e numa distribuição uniforme da energia sonora.

Campo Reverberante: descreve o espaço que é suficientemente distante da fonte de som, em que as reverberações são mais altas do que o som direto.

Convolution filters: é um processo usado para simular a reverberação ou efeitos. Baseia-se na operação de convolução matemática e usa uma amostra de áudio pré-gravada da resposta de impulso do espaço que está moldado.

Coloração: é uma característica de som. Todo o material ressoa quando atingido, é assim que os materiais diferentes, fazem com que os seus sons ou tons sejam identificados. Os altifalantes devem ser neutros, sem um som identificável, mas estes estão dependentes de ressonâncias que cortam ou alteram o som. A coloração compromete a fidelidade e prejudica a imagem combinando os sons. Os altifalantes com baixa coloração são mais precisos, representam fielmente o timbre ou o carácter distintivo de cada som.

Correlação: o som vem de várias fontes relacionadas. Para que isto aconteça, as fontes extra devem ser derivadas de uma única fonte, pode acontecer de duas maneiras: a primeira, as diferentes fontes podem ser relacionadas por uma simples reflexão, como pode surgir de uma superfície próxima. Se o atraso for curto, o som atrasado será semelhante ao original e será correlacionado com a fonte de som primária. Em segundo, o som pode ser derivado de uma fonte comum, como uma gravação ou um microfone e, em seguida pode ser reproduzido usando vários altifalantes. Como estes estão a ser “alimentados” com o mesmo sinal estão correlacionados.

D

Decorrelação: é um processo no qual o sinal de áudio é transformado em múltiplos sinais de saída, com formas de onda diferentes, mas que soam semelhantes. Distribuir estes sinais para diferentes altifalantes como um sistema surround, cria a sensação de espaço e ajuda os ouvintes a identificar a localização de som.

Delay: uma repetição do som que é ouvido como um evento separado do som original (como num eco).

Discreet Quad: o Discreet Quad é o único sistema quadrifónico verdadeiro. Os canais originais são processados através de um dispositivo de transmissão de quatro canais e reproduzidos num sistema também ele de quatro canais, alimentando outros tantos altifalantes. Isto é definido como um sistema 4-4-4.

Distorção: mudança indesejada na forma de onda, causando uma qualidade de som imperfeita; o aparecimento de frequências na saída do sinal a partir de um dispositivo que não estavam no sinal de entrada. A distorção é causada pela gravação a um nível elevado, usando configurações inadequadas na gravação. Por vezes pode ser desejada como por exemplo nas guitarras elétricas. Na gravação digital, a distorção também pode ocorrer em níveis muito baixos, onde não há bits suficientes para gravar o sinal com precisão.

E

Efeito Listener: Variação de som relativa ao posicionamento (ou qualquer outra ação) do ouvinte.

Early Reflections: estas reflexões são sons que chegam ao ouvinte depois de serem refletidas talvez uma ou duas vezes nas superfícies do espaço de escuta, como paredes, tetos e piso. Estas reflexões chegam mais tarde que o som direto, tipicamente com intervalos entre os 5 e os 100 milésimos de segundo, mas podem chegar antes do início da reverberação total. As reflexões iniciais

transmitem ao cérebro informação sobre o tamanho de uma sala e distância às fontes.

Eco: repetição distinta de um som devido ao som refletido numa superfície; Usado algumas vezes para significar reverberação (a continuação de um som depois da fonte o deixar de emitir)

F

Fase: a quantidade pela qual uma onda sinusoidal conduz ou atrasa uma segunda onda da mesma frequência. A diferença é denominada ângulo de fase. As ondas sinusoidais em fase reforçam-se mutuamente; as que estão fora de fase cancelam-se.

Feed: envio de um sinal.

Figura de Oito: cápsula de microfonação ou microfonação que capta som na parte da frente e de trás também chamado de bidirecional.

Fonógrafo: dispositivo de reprodução e impressão sonora através de um cilindro, inventado em 1877 por Thomas Edison. Foi o primeiro aparelho capaz de gravar e reproduzir som.

G

Ganho: aumento da intensidade do sinal de áudio, regra geral expressa em dB.

Gramophone: Dispositivo de gravação e reprodução de som analógico em forma de disco.

H

Head Related Transfer Functions: é uma função que caracteriza a forma como o ouvido externo (orelha) recebe o som de um ponto no espaço. À medida que o som atinge o ouvinte, o tamanho e a forma da cabeça, as orelhas, o canal auditivo,

a densidade da cabeça, o tamanho e a forma das cavidades nasais e bucais, todos transformam o som e afetam a forma como é percebido, aumentando algumas frequências e atenuando outras. De um modo geral o HRTF aumenta as frequências entre os 2 os 5 kHz com uma ressonância primária de +17 dB a 2.700 Hz. Estes valores variam de pessoa para pessoa.

High Pass Filter: filtro de áudio que atenua sinais abaixo de uma determinada frequência deixando passar todas as outras.

Holophonia: Técnica de gravação de áudio, projetada por Hugo Zuccarelli, que utiliza os princípios da teoria do Binaural.

I

Intensidade Interaural: diferença da intensidade percebida entre cada um dos ouvidos.

Interaural Time Differences: diferença do tempo de chegada de uma onda sonora e cada ouvido.

Interaural Level Differences: À medida que o som viaja, a sua força é dissipada causando isto a diferença de volume e distribuição de frequência entre os dois ouvidos.

ITU: *International Telecommunication Union*, é a União Internacional de Telecomunicações, agência das Nações Unidas responsável por todos os assuntos respeitantes às tecnologias da informação e da comunicação.

J//

K

Kilohertz: unidade de medida da frequência, ou ciclos por segundo. Uma vez que um hertz é um ciclo por segundo, um quilohertz é igual a 1000 ciclos por segundo.

Khz: abreviatura de Kilohertz. Ver Kilohertz.

L

Line Input: Uma entrada projetada para receber um sinal de nível de linha.

Line level: O nível do sinal de áudio padrão que ocorre através dos cabos da interconexão no sistema de áudio, antes do sinal ser amplificado e enviado para os altifalantes.

Loudness: Termo que se refere como o ouvido humano percebe as ondas sonoras, nomeadamente a intensidade, sendo esta representada numa escala que vai do som mais suave ao som mais alto. Esta escala tem como unidade de medida o *Phon*.

M

Mixdown: é um processo na criação da mistura final, combinando várias faixas de áudio numa única faixa (ou sob qualquer formato que seja exigido) antes da fase de masterização.

Mono Pan Pot: é usado este termo, quando um som multicanal é reproduzido em vários altifalantes. Ao variar a amplitude relativa do sinal enviado a cada altifalante, pode-se sugerir uma direção artificial em relação ao ouvinte. O controlo que é utilizado para variar esta amplitude relativa do sinal é conhecido com um “pan - pot” (potenciómetro panorâmico).

N

Near field compensation: termo usado na descodificação Ambisonics, para sistemas de altifalantes mais pequenos. Ambisonics na sua forma original

assume fontes de onda plana para a sua reprodução, esta sobreposição levará ao aumento de graves, logo é necessária uma compensação apropriada. (equalização de graves)

Noise Gate: filtro usado para reduzir o ruído audível, desligando automaticamente um canal de áudio quando o sinal não está presente.

O

OCT: Ver Optimized Cardioid Triangle.

Omnidirecional: relativo aos microfones cuja a membrana é sensível em todas as direções uniformemente, quando usado nos altifalantes, é referente ao envio uniforme do sinal em todas as direções.

Optimized Cardioid Triangle: é uma matriz projetada para os três canais frontais. Este sistema oferece uma boa separação entre centro esquerdo e centro direito.

Office de Radiodiffusion Télévision Française: Agência francesa responsável pela difusão pública da rádio e televisão entre 1964 e 1974.

ORTF Stereo Technique: método de captação surround, esta configuração é usada frequentemente para a gravação de ambientes.

Output: Localização física de onde o dispositivo envia o sinal

P

Panorâmica ou pan: Ajusta o volume relativo entre esquerda e direita numa configuração stereo ou surround, manipulada através do controlo de Pan.

Periphonic: Termo utilizado para descrever a reprodução do campo de som completo, denominado como esfera completa, ou seja descodificação usando as informações “z”, bem como W, X, e Y (ou Q, além de L, R e T)

Pink Noise: ruído comum no espectro de frequência, sendo este inversamente proporcional à frequência do sinal.

Polaridade: é a direção positiva ou negativa de uma forma elétrica, acústica ou magnética. Dois sinais idênticos em polaridade oposta são separados a 180º em todas as frequências. A polaridade não depende das frequências.

Phanton Sources: recriação de uma fonte de som, num local diferente dos altifalante num sistema stereo ou surround.

Phon: Unidade de media da escala de Loudness.

Q

Q-biphonic: Sistema de quatro canais da JVC, na gravação usa duas cabeças artificiais e na reprodução acrescenta dois altifalantes atrás do ouvinte.

Quadraphonic: Sistemas surround desenvolvidos na década de 1970, usando quatro canais para surround horizontal.

Quad: Ver quadrapfhonic

R

Re: Vector de Energia

Refracção: característica das ondas de som quando se deslocam no espaço em camadas com diferentes velocidades.

Reflexão: reflexo das ondas de som numa superfície plana. Oposto de absorção. A reflexão pode ter um grande impacto na forma como percebemos o som.

Ressonância: Característica que advém da reflexão, onde o som ganha uma periodicidade natural, ou o reforço associado a esta periocidade.

Reverberação: é a persistência de um som depois da fonte o deixar de emitir, é causado por muitos ecos discretos que chegam ao ouvido espaçados no tempo sendo este incapaz de os separar.

Reverb: termo utilizado para reverberação ou processador/*plug-in* que cria uma reverberação artificial para um sinal.

Ruído: termo utilizado para descrever frequências de som desagradáveis, censuráveis ou não intencionais presentes no sinal de áudio. Pode ter origem natural, elétrica/electrónica ou digital.

Ruído de Fundo: Ruído ambiente, que não esteja relacionado com os diálogos ou instrumentos, que pode ajudar na criação do som ambiente.

Rv: Vetor de velocidade

S

Som Ambiente: Som natural ou manipulado tendo em vista a criação ou acentuação de determinada atmosfera visual/sonora.

SMPTE: Abreviação para sociedade de engenheiros de filmes e televisão.

Subgrupo: Uma série de canais que pode ser controlado e ajustado como um único conjunto antes de enviar o sinal combinado para o canal master. Às vezes também pode ser chamado de “*submix, bus* ou apenas *group*”.

Sweet Spot: é o termo usado para descrever o ponto focal entre dois ou mais altifalantes, onde o ouvinte é totalmente capaz de ouvir a mistura da forma como foi concebida pelo misturador.

T

Tempo de reverberação: O tempo que demora para a reverberação ou o eco de uma fonte de som desaparecer após o som direto parar. Especificamente, o tempo de reverberação é medido entre o ponto em que a fonte de som pára e o ponto em que os níveis de reverberação caem abaixo dos 60 dB. Podendo este ser variável sendo medido em milissegundos.

Timbre: Qualidade do som que faz com que um instrumento soe diferente de outros instrumentos, mesmo quando estão no mesmo tom. Timbre é amplamente moldado através da presença, ausência e complexidade de harmónicos quando o instrumento é tocado.

Theatrophone: Sistema de distribuição telefónica disponível em algumas partes da Europa. Permitia aos assinantes ouvir performances de ópera e teatro através das linhas telefónicas.

U

Unidirecional: padrão polar que é mais sensível ao som que chega da direção frontal, do que nas laterais.

UPMIX: Termo que se refere a misturas de som *stereo* ou *surround*, geradas a partir de material fonte mono e/ou stereo.

V

Volume Meter: medidor que interpreta níveis de áudio dentro ou fora de um equipamento e é projetado para combinar a resposta do ouvido com as mudanças bruscas de nível.

W

Wave Field Synthesis: técnica de renderização de áudio espacial caracterizada pela criação de ambientes acústicos virtuais. Produz ondas frontais sintetizadas por um grande numero de altifalantes direcionados individualmente.

Wild Sound: Em filmes é o áudio que é gravado á parte que pode ser adicionado posteriormente na montagem de áudio e não precisa de ser sincronizado com a imagem. É um dos contribuintes para a criação do som ambiente.

White Noise: Um sinal de ruído que contem uma distribuição igual de energia em todas as frequências audíveis.

X

X-Y: Técnica de captação *stereo* coincidente, na qual dois microfones cardióides são colocados num ângulo de 90° , estando os microfones o mais próximo possível um do outro.

Y//

Z//

7. Bibliografia

- Ader, C. (1882): *Telephonic transmission of sound from theatres*, US Patent 257453 A
- Alexander, R. (1999): *The inventor of stereo: The life and works of Alan Dower Blumlein*: New York And London Focal Press
- Blauert, J. (1997): *Spatial Hearing: The psychophysysics of Human Sound Localization*. Cambridge. MA: Mit Press
- Blumlein, A, (1993): *Improvements in and Relating to sound-transmission, sound recording and sound reproducing systems* , British Patent 394325
- Bartlett, B and Bartlett, J. (2014): *Capturing the live performance Recording Music on Location*, 70 Blanchard Road, Suite 402, Burlington MA 01803, Focal Press
- Bartlett, B and Bartlett, J. (1999): *On-location Recording techniques*, Butterworth – Heinemann, Focal Press
- Daubney, C. (1982) : *Ambisonics – on operational insight*, Reprinted, by permission from IBA technical, review 14, *Latest Developments in sound Broadcasting*, June 1981
- Crowhurst, N. (1957): *Stereophonic Sound*. New York: John F. Rider Publisher
- Howard, D and Angus, J , (2009): *Acoustic and Psychoacoustics* Fourth Edition, Oxford, Burlington ,Focal Press
- Fagen, M. Ed. (1975): *A History of Engineering and Science in the Bell System: The Early years (1875-1925)*. New York: Bell Telephone Laboratories
- Genuite, Klaus, Bray. (1989): *Binaural recording for Headphones and speakers*, U. S Audio.
- Griesinger, D (2001): *The psychoacoustics of listening area, depth, and envelopment in surround recordings, and their relationship to microphone technique* In: AES 19th Intern.
- Griesinger, D. (1989): *Equalization and Spatial Equalization Of Dummy Head Recordings For Loudspeaker Reproduction*, Lexicom, Waltham, MA

- Théberge, P, Devine, K, Everett, T, (2015): *Histories and cultures of Multi channel Sound, Living Stereo*, London, Bloomsbury
- Gerzon, M and Barton, G, (1984): *Ambisonic Surround-Sound Mixing for Multitrack Studios*, AES Preprint C1009, 2nd International Conference: The Art and Technology of Recording
- Gerzon, M (1973): *Periphony: With-Height Sound Reproduction*. Journal of the Audio Engineering Society, 21(1):2–10
- Gerzon, M (1974): *What's Wrong with Quadraphonics?* Studio Sound, Vol. 16 no. 5
- Gerzon, M, (1975): *Dummy Head Recording* , Studio Sound, Vol. 17 no. 5
- Smith. M, (1999): *Audio engineer's reference book*, UK, Focal Press
- Robert E.McGinn (1983): *Stokowski and the bell Telephone Laboratories: Collaboration in the Development of High-fidelity sound reproduction*, Technology and Culture
- Theile, G, (2001): *Multichannel natural music recording based on psychoacoustic principles*. In: AES 19th International Conference.
- Theile, G, (2001): *Natural 5.1 Music Recording Based on Psychoacoustic Principles*. Nordic Sound Symposium XX, BOLKESJØ.
- Williams, M, (2004): *Microphone Arrays for Stereo and Multichannel Sound Recordings: a variable two channel microphone array; The training of the ear: experimental recording and listening tests; More on microphones: a short tutorial*. Editrice Il Rostro.

8. Webgrafia

Ultimo acesso a 15 de julho de 2017

<http://midimagic.sgc-hosting.com/surround.htm>

<http://midimagic.sgc-hosting.com/qphonics.htm>

<http://midimagic.sgc-hosting.com/quadrafon.htm>

https://en.wikipedia.org/wiki/William_Garity

<http://webinsider.com.br/2007/04/20/fantasound-de-walt-disney-foi-o-inicio-do-som-estereo-no-cinema/>

<http://ether.remap.ucla.edu/class/mias298/lauren.oconnor/?p=48>

<http://www.ambisonic.net/ambimix.html>

http://www.ambisonic.net/branwell_arb.html

<http://ambisonic.net/>

<https://uod-true-multi-channel-mixing.wikispaces.com/Ambisonics>

<https://wiki.xiph.org/Ambisonics>

http://members.tripod.com/martin_leese/Ambisonic/

http://members.tripod.com/martin_leese/Ambisonic/reprint007.html

<http://www.ambisonic.net/gformat.html>

https://www.york.ac.uk/inst/mustech/3d_audio/ambis2.htm

<http://www.binaural.com/binfaq.html>

<http://www.stokowski.org/Harvey%20Fletcher%20Bell%20Labs%20Recordings.htm>

<http://srobbin.com/binaural/>

<https://www.dolby.com/us/en/index.html>

<https://www.michaelgerzonphotos.org.uk/ambisonics.html>

http://en.wikipedia.org/wiki/7.1_surround_sound

www.mdg.de/frame2.htm

9. Anexos

Provas de som com exemplos de técnicas abordadas durante a dissertação.

- 1- Vídeo Mp4 – Binaural – Treina Comigo
- 2- Stereo XY – Olivais
- 3- Stereo XY – Ginásio c/Música
- 4- Stereo XY – Ginásio s/Música
- 5- Stereo Blumlein – Comboio
- 6- Decca Tree – Orquestra Gulbenkian
- 7- Array 5.0 – Monsanto
- 8- Array 5.0 – Bairro em Benfica
- 9- Array 5.0 – Centro box Autódromo do Estoril
- 10- Ambisonics – Rua Coliseu
- 11- Ambisonics – Estação do Rossio
- 12- Ambisonics – Estação do Oriente
- 13- Ambisonics – Entrada de pista Autódromo do Estoril
- 14- Ambisonics – Concerto comemorações 25 de Abril 2017
- 15- Ambisonics – Alta de Lisboa
- 16-VR – Entrada de pista Autódromo do Estoril
- 17-VR - Alta de Lisboa
- 18-VR – Concerto comemorações 25 de Abril 2017