MODELO BASEADO EM AGENTES APLICADO AO IMPACTO DO RUÍDO AERONÁUTICO

Gustavo Sobreiro Santos
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Praça Mal. do Ar Eduardo Gomes, 50, Tel. (12) 98192-4246,
gustavo.sobreiro@gmail.com

Rogéria de Arantes Gomes
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Praça Mal. do Ar Eduardo Gomes, 50, Tel. (12) 3947-5883, rogeria@ita.br

RESUMO

O ruído aeronáutico é constantemente alvo de estudos que relacionam o nível médio de pressão sonora e o incômodo relatado pelos habitantes do entorno aeroportuário através das chamadas curvas dose-resposta. A relação mais estudada até o momento é entre a métrica DNL (*day-night average sound level*) e %HA (*percentage highly annoyed*). Diferentemente da métrica DNL, que estima o incômodo relacionado a uma média ponderada da pressão sonora, este trabalho faz a simulação do incômodo instantâneo dos habitantes a um único evento ruidoso. O objetivo deste trabalho é utilizar um modelo de simulação baseado em agentes para descrever o comportamento de uma dada população quanto ao ruído aeronáutico de forma dinâmica, ou seja, acompanhando a trajetória da aeronave ao longo da aproximação e da decolagem. Os resultados preliminares mostram uma considerável capacidade de validação dos modelos dose-resposta existentes quando comparados ao método do incômodo instantâneo, através de uma nova abordagem, dinâmica, baseada em agentes.

Palavras chave: ruído aeronáutico, modelo baseado em agentes, incômodo, aeroportos.

INTRODUÇÃO

Os modelos e métricas utilizadas para descrever o ruído aeronáutico são bem estabelecidos na literatura. O nível de pressão sonora pode ser representado pelas métricas DNL, EPNL, SEL, etc., e ser transformada entre elas sem muita dificuldade. Há discussões sobre qual descreve melhor o impacto do ruído na população, porém o desafio maior da academia é descobrir quais outras variáveis explicam o incômodo e os impactos na qualidade de vida das pessoas que são atingidas pelo ruído aeronáutico.

A curva de dose-resposta do ruído emitido pela porcentagem de altamente incomodados ainda apresenta uma dispersão muito grande quando comparados estudos realizados em diversos aeroportos do mundo.

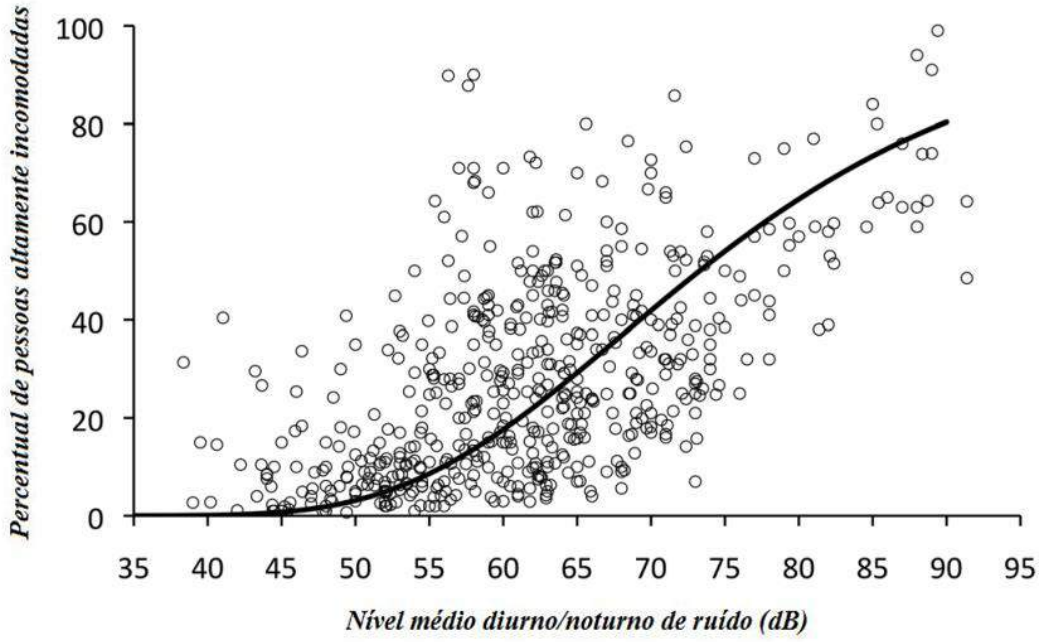


Figura 1: Relação entre o percentual de pessoas altamente incomodadas e o nível médio de ruído (Fidell et al., 2011)

A literatura a respeito das variáveis não acústicas mostra diversos potenciais fatores que podem interferir na percepção do ruído e suas reações nas pessoas que vivem no entorno de aeroportos.

Miedema e Vos (1998) dividem os fatores que influenciam o incômodo em variáveis demográficas (sexo, idade, nível de escolaridade, status profissional, tamanho da casa, casa própria, dependência da fonte de ruído, uso da fonte de ruído) e variáveis pessoais (sensibilidade ao ruído e medo da fonte de ruído). Nesse estudo foram encontrados relacionamentos fortes entre o incômodo e a sensibilidade ao ruído. Já as variáveis demográficas mostraram menor influência em determinar o grau ao incômodo. Dentre elas, a idade foi a que se mostrou mais relacionada.

Também é possível observar fortes correlações entre o incômodo e o nível de ruído, características pessoais, e algumas condições de moradia. Variáveis como orientação do quarto com relação à rua, tempo de permanência em casa durante o dia, sensibilidade ao

ruído e o ruído noturno foram as variáveis que mostraram maior significância estatística (JAKOVLJEVIC et al., 2009).

OBJETIVO

Nesse contexto o objetivo deste trabalho é utilizar um modelo de simulação baseado em agentes para descrever o comportamento de uma dada população quanto ao ruído aeronáutico de forma dinâmica, ou seja, acompanhando a trajetória da aeronave ao longo da aproximação e da decolagem.

METODOLOGIA

Das técnicas possíveis para avaliar a curva dose-resposta do ruído aeronáutico na população se destacam as empíricas estocásticas, porém existem métodos não testados para validação dos resultados encontrados nesses estudos estocásticos.

Os modelos baseados em agentes são uma dessas metodologias pouco utilizadas nos estudos relacionados ao ruído aeronáutico. Para entender como essa metodologia pode trazer soluções para o problema é necessário compreender sua definição, sua lógica, e sua organização.

O conceito de modelo baseado em agentes ainda não é totalmente padronizado, isso porquê até mesmo a definição de um "agente" é ainda discutível na academia. Franklin e Graesser (1996) discutem as definições de agentes e enumeram alguns comportamentos apresentados, identificados a partir de algumas características: (1) são reativos; (2) são autônomos; (3) são orientados por objetivo(s) / pró-ativos; (4) são temporalmente contínuos; (5) são sociáveis / comunicativos; (6) possuem capacidade de aprender / se adaptar; (7) são móveis; (8) são flexíveis; (9) possuem personalidade. Ainda segundo Franklin e Graesser (1996) "um agente é um sistema situado em um ambiente e é parte dele, que percebe o ambiente e age sobre ele, através do tempo, conforme sua própria 'agenda' e de modo a refletir suas percepções futuras". Essa definição, embora satisfaça apenas as quatro primeiras características, é capaz de representar desde agentes extremamente simples, até seres humanos, extremamente complexos.

A partir dessa noção de agente, a diferenciação entre os modelos de simulação tradicionais e ou modelos baseados em agentes fica mais clara. Os padrões encontrados em modelos baseados em agentes partem da interação entre agentes e da iteração desses agentes com o ambiente, ao invés de encontrar padrões baseados em processos, como no caso da modelagem tradicional.

Macal e North (2006) propõem os seguintes requisitos para a construção de modelos baseados em agentes: 1) identificar os tipos de agentes e seus atributos; (2) definir o ambiente no qual os agentes irão habitar e interagir; (3) especificar os métodos pelos quais os atributos dos agentes serão atualizados em resposta às interações entre agentes e entre agentes e ambiente; (4) adicionar os métodos que controlam que agentes interagem, quando interagem, e como interagem durante a simulação; (5) implementar o modelo de agentes em um sistema computacional.

DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do trabalho parte do entendimento do problema do impacto pelo ruído aeronáutico e seus componentes. Quais são os agentes identificados nesse impacto? De forma geral temos inúmeros fatores e agentes que podem influenciar a maneira que o ruído interfere na população no entorno de aeroportos. Pode-se dizer que os passageiros são a base do fenômeno em si, pois sem passageiros teoricamente não há voos, e sem voos não há ruído. Porém esse agente, mesmo sendo base do problema, pode ficar intrínseco numa análise mais simples do impacto. O fator de crescimento da demanda por transporte aéreo é com certeza uma variável a ser considerada a longo prazo, e isso influenciará a quantidade de acentos ofertados nas aeronaves e consequentemente o número de voos e aeronaves.

O número de aeronaves, existente no problema de ruído como variável diretamente relacionada com o número de sobrevoos sobre a população, também influencia a intensidade do incômodo causado na população. Portanto as aeronaves fazem parte do modelo diretamente, e serão introduzidas como agentes.

Embora nos estudos relacionados ao impacto de ruído exista pouca aleatoriedade na atitude da aeronave, ou seja, poucos eventos onde a aeronave segue por uma trajetória desconhecida previamente, existem alguns momentos em que esse comportamento pode alterar, como por exemplo em situações de arremetidas ou mudança de rota. Porém esses comportamentos ainda não serão introduzidos nesse estudo.

O agente mais relevante para o estudo é a população de entorno dos aeroportos. Não somente os moradores dessas regiões, mas também todo indivíduo que exerce alguma atividade ou transita por essa área. Essa população geralmente é heterogenia, com diferentes características psicológicas, diferentes atividades, cercada por diferentes ambientes, o que dá mais complexidade ao problema. Devido a essas condições é fácil perceber que dificilmente conseguiremos representar fielmente essa realidade, porém a utilização dos modelos baseados em agentes pode ajudar a entender um pouco mais dessa realidade, pois trata o problema de uma perspectiva diferente.

Quando analisadas as relações entre o ruído aeronáutico e os tipos de uso do solo um dos métodos de mitigação desse impacto é o estabelecimento de usos do solo diferentes em regiões com diferentes níveis de exposição ao ruído aeronáutico. Esse tipo de mitigação confirma a influência que o agente relacionado à população pode sofrer do meio em que está inserido. Regiões predominantemente comerciais podem ter efeitos diferentes no incômodo da população que ali está, assim como a população que está inserida em regiões que são exclusivamente residenciais também terão uma percepção diferente do ruído. O mesmo vale para áreas industriais, de preservação ambiental ou de uso misto.

A interação entre o agente “aeronave” e o agente “população” é dada a partir do sinal emitido da aeronave, ou seja, o ruído. O som da aeronave se propaga pelo ambiente até que chegue aos habitantes do entorno, e diminui sua intensidade a medida em que se afasta da posição inicial que foi emitido. Esse sinal também pode ser mais intenso ou mais atenuado dependendo das características da aeronave, da velocidade e da situação em que ela se encontra, seja em pouso ou decolagem. Embora o ruído diminua à medida em que se afasta, a percepção de duas pessoas que estão a mesma distância do ponto inicial de

emissão do ruído é frequentemente diferente pelos fatores não-acústicos já citados anteriormente.

Os diferentes agentes do modelo interagem de forma dinâmica, ou seja, cada instante é marcado por uma mudança de estado de cada agente conforme os estímulos emitidos por outros agentes ou pelo ambiente. O dinamismo do modelo de simulação multi-agente permite executar uma sequência de mudanças de estado de cada agente, garantindo assim a noção de movimento e velocidade do modelo como um todo. No estudo do ruído aeronáutico e seu impacto na população existem algumas possibilidades para criação desse movimento. As mais notáveis são o movimento da aeronave e a propagação do ruído emitido. A Figura 2 mostra um esquema conceitual do modelo baseado em agente aplicado ao impacto de ruído aeronáutico.

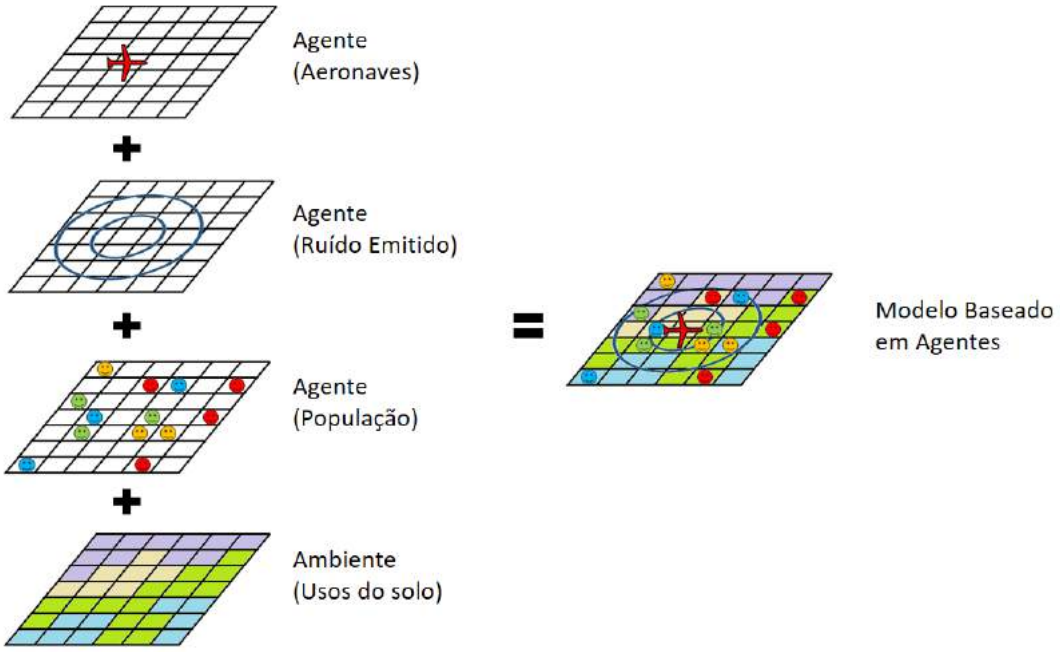


Figura 2: Modelo conceitual de modelo baseado em agentes aplicado ao impacto de ruído aeronáutico

O movimento da aeronave é unidirecional no sentido da rota previamente definida. Em uma situação real ela pode ser alterada dependendo das condições de voo e outros fatores, mas no modelo é possível assumir que essa rota não se altera por simplificação.

O ruído emitido é uma onda que se expande radialmente e perde intensidade à medida que se afasta do ponto inicial de emissão, portanto no modelo ele pode ser descrito como uma circunferência onde o raio aumenta conforme os instantes avançam.

Considerando a população como outro agente integrante do modelo, também é desejável que ocorram mudanças de estado dessa população ao longo do tempo. Essas mudanças de estado serão causadas pelas interações do ruído emitido e a população de entorno. As interações podem representar tanto o nível de ruído medido o nível de ruído percebido no ponto que o indivíduo se encontra. Diante disso a resposta do indivíduo será uma variação do nível de incômodo. Como cada indivíduo guarda características intrínsecas diferentes essa resposta também será diferenciada, ou seja, para um mesmo valor de ruído indivíduos terão incômodos diferentes.

A regra de mudança para o incômodo do indivíduo pode ser descrita em função das variáveis já descritas em Miedema e Vos (1998). Em princípio essa função pode ser linear, pois não está sendo correlacionado nesse estudo o percentual de altamente incomodados como ocorre tradicionalmente na literatura. Como um primeiro teste para o modelo a equação que descreve o comportamento dos agentes pode ser descrita da seguinte forma:

$$I_i = \beta_n R_n + \sum \beta_i D_i + \sum \beta_i P_i$$

Onde I_i é o incômodo sentido pelo indivíduo i, R_n é o enésimo nível de ruído instantâneo, D_i são as variáveis demográficas do indivíduo i, P_i as variáveis pessoais e β são os pesos associados a cada variável. Seguindo esse modelo conceitual pode-se testar as correlações descritas na literatura das diversas variáveis subjetivas já estudadas na literatura. Os pesos de cada variável devem determinar como cada indivíduo reage ao ruído.

RESULTADOS PRELIMINARES

O modelo baseado em agentes ainda se encontra em fase de construção, porém alguns resultados já podem ser descritos. A Figura 3 mostra o layout do modelo desenvolvido através da plataforma NetLogo. Esse modelo foi adaptado de Uri Wilensky (1997), desenvolvedor da plataforma, o qual inicialmente criou uma lista de exemplos de programação para os usuários. No modelo adaptado inseriu-se um controlador da quantidade de agentes referente à população.

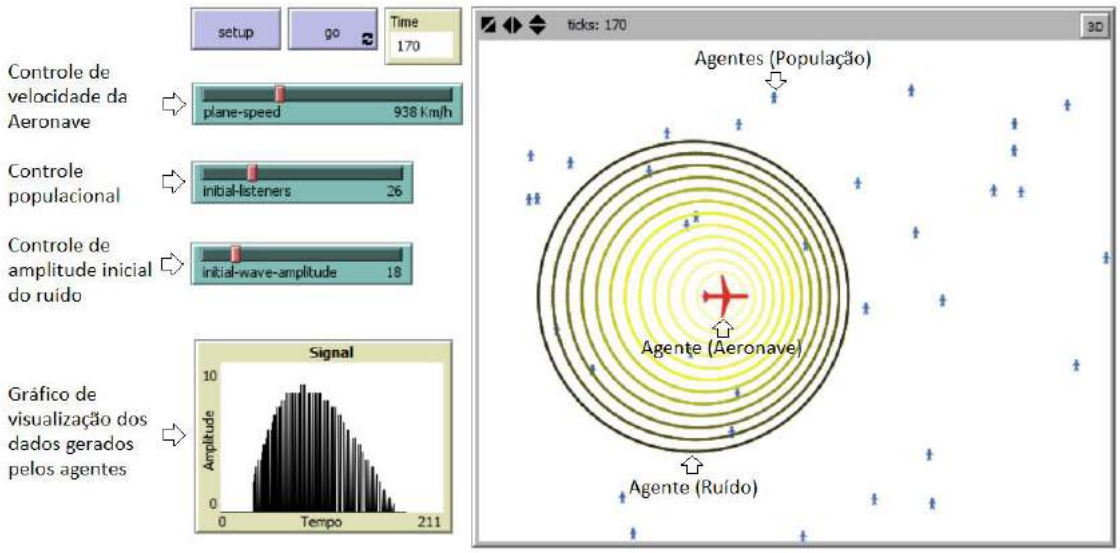


Figura 3: Componentes do modelo baseado em agentes

Cada agente representando a população em azul na Figura 3 capta o sinal emitido pela aeronave a cada instante de tempo. Quando há diferença na posição desse agente a característica do ruído também é alterada, a amplitude do sinal é menor para posições mais afastadas da aeronave e a forma da curva amplitude pelo tempo também se modifica. A Figura 4 mostra que se mantendo a mesma amplitude inicial e a mesma velocidade da aeronave o sinal que o agente recebe é diferente dependendo da posição.

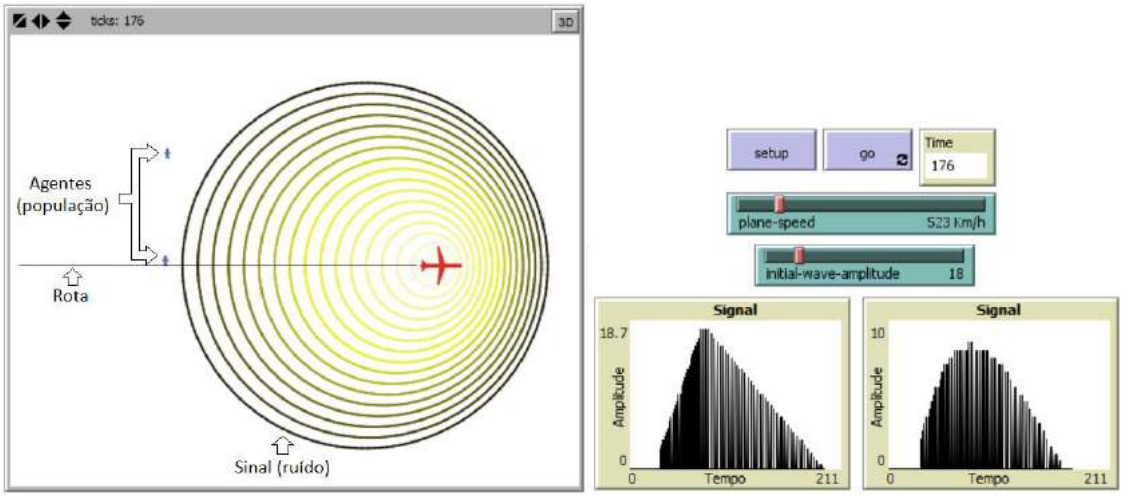


Figura 4: Diferença na recepção do ruído. Agente localizado na rota da aeronave (gráfico esquerdo), agente afastado da rota da aeronave (gráfico direito)

O modelo também permite o controle da velocidade da aeronave, e a intensidade do ruído emitido pela aeronave. Desta forma essas variáveis permitem representar diferentes tipos de aeronave, uma vez que existem aeronaves mais ruidosas que outras. Isso também influenciará a percepção da população e a extensão da área impactada. A Figura 5 mostra um exemplo de como o ruído chega de forma diferente à população dependendo da velocidade da aeronave.

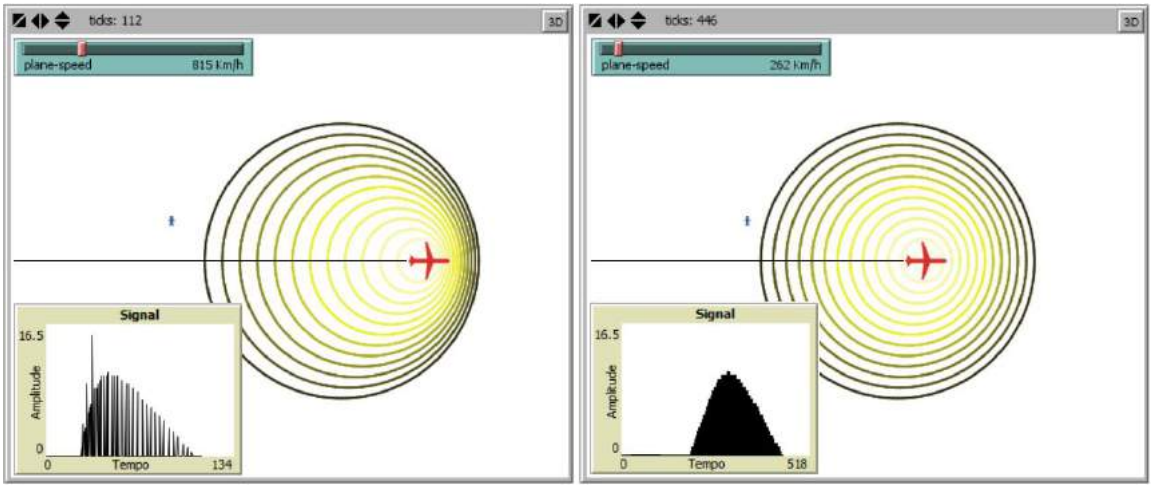


Figura 5: Diferença no ruído emitido pela aeronave com velocidade maior (lado esquerdo) e velocidade menor (lado direito)

O efeito doppler, que é a percepção da diferença de frequência de uma fonte em movimento, é maior quando a velocidade da aeronave aumenta. Esse efeito acentuado pode causar picos de pressão sonora, causando um possível aumento do incômodo na população.

O modelo baseado em agentes precisa ainda incorporar as características do ambiente que a população está sujeita, e as características subjetivas pessoais de cada indivíduo. Porém os resultados preliminares mostram que é possível criar uma simulação com múltiplos agentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O impacto pelo ruído aeronáutico nas áreas de entorno dos aeroportos ainda é a mais discutida externalidade na área de transporte aéreo. Esse estudo possibilita abrir novas alternativas para entender o problema de forma a gerar respostas que levem a possíveis soluções. Os modelos baseados em agentes ainda não são parte relevante da literatura relacionada ao tema. Porém, dada a capacidade que os modelos baseados em agentes têm para descrever sistemas complexos, como é o caso da subjetividade do incômodo causado pelo ruído, existe então a possibilidade de empregar essa técnica no estudo do fenômeno.

Os resultados preliminares mostram que a interação entre aeronave e população, através do ruído, pode ser descrito através de agentes. Resta agora incorporar as interações do ambiente, e as variáveis pessoais dos indivíduos da população. Desta forma será possível validar os fatores encontrados por meio de processos estocásticos a respeito das variáveis não acústicas que alteram a percepção do ruído em cada indivíduo.

BIBLIOGRAFIA

Fidell, S.; Mestre, V.; Schomer, P.; Berry, B.; Gjestland T.; Vallet, M.; Reid, T. (2011) A first-principles model for estimating the prevalence of annoyance with aircraft noise exposure. Journal of the Acoustical Society of America. Volume 130. Issue 2.

Franklin, S. e Graesser, A. (1996) "Is it an Agent, or just a Program? A Taxonomy for Autonomous Agents", Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages, Springer-Verlag.

Jakovljevic, B.; Paunovic, K.; Belojevic, G. (2009) Road-traffic noise and factors influencing noise annoyance in an urban population - Environment International Volume 35, Issue 3

Macal, C. M. e North, M. J. (2006) "Tutorial on Agent-Based Modelling and Simulation Part 2: How to model with agents", in Perrone, L. F., Wieland, F. P. Lawson, B. G., Nicol, D. M. and Fujimoto R. M., J. A. (eds.), Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference.

Miedema, H. M., & Vos, H. (1998). Exposure-response relationships for transportation noise. The Journal of the Acoustical Society of America, 104(6), 3432-3445.

Wilensky, U. (1997). Netlogo ants model. Netlogo model library, Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL. URL http://ccl. northwestern. edu/netlogo/models/Ants.