SBTIC 2019
VIRTUALIZAÇÃO INTELIGENTE NO PROJETO E NA CONSTRUÇÃO
2º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunição na Construção
UNICAMP | 19 a 21 de agosto

MOBILIDADE ASSISTIDA EM AMBIENTES FECHADOS: INFRAESTRUTURA HÍBRIDA DE *BEACONS* BLE E LÂMPADAS DE LED INTELIGENTES.

Indoor assisted mobility: BLE Beacons and SmartLED hybrid infrastructure.

José Luis Menegotto
Universidade Federal do Rio de Janeiro | Rio de Janeiro, RJ | jlmenegotto@poli.ufrj.br

RESUMO

O artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema de localização para ambientes fechados que utiliza uma infraestrutura híbrida máquina a máquina (M2M) definida pela combinação de dispositivos equipados com Bluetooth 4.0 de baixa energia. No projeto são integrados *beacons* autônomos e lâmpadas de LED inteligentes Bluetooth 4.0. O principal problema é configuração de uma malha de dispositivos IoT heterogêneos que seja formalmente congruente com a distribuição arquitetônica dos espaços. Os *beacons* foram escolhidos para definir a localização e o rastreamento dos recursos físicos existentes em um edifício (pessoas e objetos), enquanto as lâmpadas de LED são usadas para definir o zoneamento fixo do edifício. O endereço MAC dos dispositivos é utilizado como chave comum de identificação espacial para mapear as salas e os recursos da construção. No artigo são detalhados os princípios técnicos do sistema de localização, programado em C# dentro do ambiente de desenvolvimento Xamarin para dispositivos Android e os pressupostos teóricos de um serviço de mobilidade assistida por orientação musical, na qual se combinam questões de natureza espacial e temporal. O sistema é projetado principalmente para pessoas que sofrem de alguma forma de deficiência visual. Resultados e problemas a serem resolvidos são destacados no final do artigo.

Palavras-chave: Mobilidade Assistida; Localização em ambientes fechados; *Beacons* BLE; Lâmpadas LED inteligentes.

ABSTRACT

This article reports the development of a space-time processing project based on an indoor localization system that uses a machine to machine (M2M) hybrid infrastructure, defined by the combination of low-power Bluetooth 4.0 stand-alone beacon devices associated with Bluetooth 4.0 smart led lamps. The main problem to solve is configurate a controlled and secure indoor location mesh formed by heterogeneous IoT devices, formally congruent with architectonic distribution of the spaces. The autonomous beacons were chosen to define the location and tracking the physical resources that exist in a building (people and objects), while the led lamps are used to define the fixed zoning of the building. The Media Access Control address (MAC) of the devices is used as the spatial identification key for mapping the building rooms and resources. In the article are detailed the technical principles of the location system, programmed in C# within Xamarin development environment for Android devices, and the theoretical assumptions of a musical orientation assisted mobility service. The system is principally designed for people that suffer of some form of vision impairment. Results and problems to be solved are highlighted at the end of the article.

Keywords: Assisted mobility; Indoor Positioning System; Beacons BLE; Smart LED.

1 INTRODUÇÃO

Sistemas de localização em ambientes fechados, baseados na infraestrutura de pontos de acesso (AP) das redes Wi-Fi, adaptam os algoritmos de inferência de posicionamento à distribuição dos AP. Em tais sistemas, o projeto de distribuição geométrica dos pontos de acesso é inexistente ou precisa ser negociado com os requisitos da rede. Eles são classificados como sistemas livres de infraestrutura em (LYMBEROPOULOS et al, 2015). Como não contam com uma infraestrutura controlada, a presença de algoritmos de inferência de localização é essencial para o seu funcionamento, sendo a precisão de inferência um problema ainda a ser resolvido (LYMBEROPOULOS et al, 2015).

A tecnologia Bluetooth BLE ou 4.0 tem se consolidado como uma alternativa (BLUETOOTH, 2019). Ela permite a descoberta contínua e passiva de pequenos dispositivos emissores de sinais de radiofrequência (RF) que estabelecem a comunicação sem realizar o pareamento, como o Bluetooth tradicional. Além de ser embarcada em dispositivos autônomos, denominados *beacons*, a tecnologia vem sendo embarcada a dispositivos diversos, dentre os quais encontram-se as lâmpadas LED inteligentes, destacando-se como

MENEGOTTO, J.L.. Mobilidade assistida em ambientes fechados: infraestrutura híbrida de *Beacons* BLE e lâmpadas de LED inteligentes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2., 2019, Campinas, SP. **Anais[...].** Porto Alegre: ANTAC, 2019. Disponível em: https://antaceventos.net.br/index.php/sbtic/sbtic2019/paper/view/95

uma opção tecnológica atraente para aplicações de localização em tempo real (BLUETOOTH, 2019). Destacamos que, em uma edificação, o projeto geométrico luminotécnico reflete a estruturação formal e espacial do projeto arquitetônico, além de atender, por sua vez, a exigências funcionais relacionadas com a acessibilidade, os deslocamentos, a segurança, o conforto visual ou a pura fruição estética.

Objetiva-se a criação de uma infraestrutura híbrida de microlocalização em ambientes fechados combinando emissores tipo *beacons* e lâmpadas LED inteligentes. Além da mobilidade, a infraestrutura é pensada para dar suporte a sistemas de gerenciamento de ativos, serviços de localização e sistemas de controle e monitoramento. Um dos requisitos procurados é que a distribuição da infraestrutura seja formalmente congruente e vinculada tanto à morfologia do edifício quanto à sua distribuição funcional, daí que destaquemos a importância do uso de lâmpadas LED inteligentes, uma vez que o projeto luminotécnico, em geral, se caracteriza por ser congruente à morfologia do edifício. A meta do trabalho é conseguir um serviço integrado de informações contextuais de microlocalização em ambientes fechados e de gerenciamento da edificação, composto por funções de rastreamento de recursos, de suporte a operações de manutenção programada e, principalmente, de mobilidade assistida pela identificação de pontos de referência sonoros através do uso de arquivos MIDI.

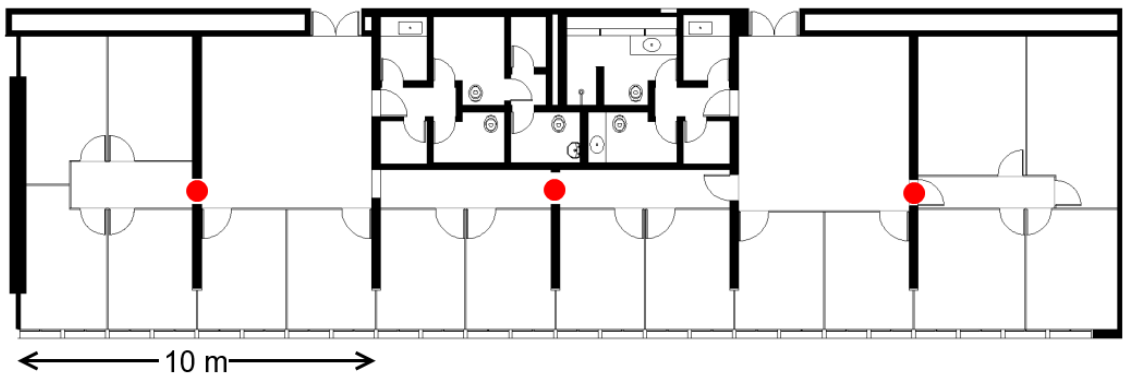
2 METODO

A pesquisa é experimental, combinando etapas de campo e laboratório. Devido aos poucos dispositivos disponíveis, testes de campo foram realizados com malhas de pouca densidade.

2.1 Componentes do sistema

O aplicativo foi criado para smartphone Samsung S5 com Android 6.0 (API 23). A infraestrutura de *beacons* utiliza as especificações da biblioteca *AltBeacon* (ALTBEACON, 2019). *AltBeacon* é um protocolo de envio de mensagens contextuais desde emissores BLE. Os emissores são *Onixbeacon* e as lâmpadas *smart* LED testadas foram FLC e *Playbulb*. O sistema opera em dois modos: estacionário e navegação. No modo estacionário o intervalo de escaneamento dos dispositivos próximos é de 5 segundos. No modo navegação configurou-se para 4 escaneamentos/segundo, respondendo à velocidade normal de caminhada de pessoas de média idade (1,02 m/s a 1,35 m/s) (NOVAES et al, 2011). A malha de *beacons* foi distribuída linearmente, distanciando os emissores a 10 m.

Figura 1: Área de testes



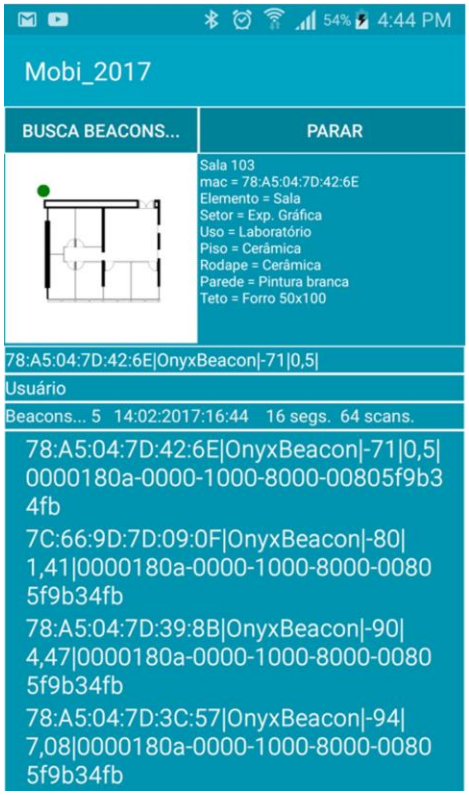
Fonte: O autor.

Os dados associados aos emissores estão divididos em três categorias: ambientes, recursos humanos e recursos físicos. São estruturados em formato de arquivo XML e armazenados em servidor Web ou local. Por ser um código presente em todos os dispositivos, o endereço MAC foi utilizado como valor chave para realizar a inferência de localização. Os atributos dos objetos ou espaços no arquivo XML podem mudar, dependendo da categoria do elemento cadastrado no sistema. Na Figura 2 é apresentada a interface gráfica e a estruturação dos dados em XML.

O elemento <Beacon> pode-se referir tanto a um dispositivo beacon como a uma lâmpada LED. Um recurso físico, como um equipamento, pode ter um atributo “Potência”, enquanto pode-se atribuir as dimensões para o mobiliário. A localização do usuário é determinada quando o aplicativo, carregado no dispositivo móvel, capta as intensidades dos sinais de radiofrequência transmitidos pelos emissores cadastrados, ordenando-os por intensidade. Não foi programado nenhum algoritmo para intermediar a

leitura do sinal, a comunicação é direta máquina a máquina. Para diminuir a quantidade de sinais recebidos, a API filtra apenas os dispositivos cadastrados. A filtragem é importante, pois evita a leitura de sinais RF enviados por aparelhos externos ao sistema, especialmente em lugares onde transitam muitas pessoas e artefatos BLE, cada vez mais numerosos. Observou-se em campo que essa situação pode sobrecarregar a memória do dispositivo móvel afetando o desempenho.

Figura 2: Interface do aplicativo e arquivo mapa XML.




```
<Mapeamento>
 <Predio> <Id>NOME DO PREDIO</Id></Predio>
 <Bloco> <Id>Bloco_D</Id></Bloco>
 <Beacon mac="78:A5:04:7D:39:8B"
      Midi="Midi_01"
      Elemento= "Sala"
      Setor="Exp. Gráfica"
      Foto="E_01.png"
      Uso="Aula"
      Piso="Taco"
      Rodape="Madeira"
      Parede="Pintura branca"
      Teto="Gesso">Sala 101</Beacon>
 ....
 <Beacon mac="7C:66:9D:7D:09:0F"
      Midi="Midi_01"
      Elemento="Professor"
      Nome="Fulano"
      Nivel="Adjunto IV"
      Departamento= "Exp. Gráfica"
      Telefone ="3938-8052"
      E-mail="fulano@pol.br"
      Foto="fulano.png">Fulano</Beacon>
 ....
 <Beacon mac="B4:99:4C:76:EB:87"
      Midi="Midi_02"
      Elemento="Luminária"
      Local="Quarto"
      Setor="D"
      Foto="Lum_flc.png"
      Fabricante="FLC"
      Tipo="LED Smart"
      Potência="10W">Luminária A</Beacon>
 ....
</Mapeamento>
```

Fonte: O autor.

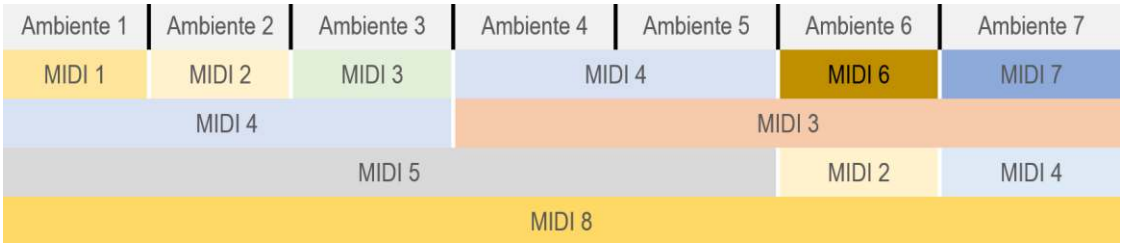
A presença dos atributos “Midi” e "Foto" é obrigatória e comum a todas as categorias. O arquivo MIDI é executado quando um usuário, portando um *smartphone*, entra na área de influência dos emissores correspondentes. Os sons gravados no MIDI e associados aos ambientes funcionam como qualificadores sonoros do espaço. Busca-se auxiliar deficientes visuais a se orientarem pela memória sonora; alertar acerca de situações espaciais que exigem atenção especial, como a proximidade de obstáculos fixos ou móveis no interior do prédio; e, promover a fruição estética durante o movimento. Como alternativa à interface sonora, foi programada uma interface de voz que informa as características do local. A seguir são relatados os pressupostos teóricos utilizados para o projeto de mobilidade assistida, os quais utilizam a infraestrutura programada.

2.2 Pressupostos teóricos para a imageabilidade sonora

Lynch conceituou a "imageabilidade espacial". Para ele, a imageabilidade do ambiente urbano implicaria a evocação mental de imagens que permitam a identificação estrutural do espaço (LYNCH, 2006). Neste trabalho, o conceito é transportado para a memória auditiva dos espaços arquitetônicos. Os qualificadores sonoros MIDI pretendem estabelecer um nexo mnemônico entre o usuário e o espaço. Aumentar a imageabilidade do ambiente significa aqui criar situações que permitam evocar imagens através de sonoridades artificialmente estruturadas. Entende-se como nexo mnemônico às qualidades sonoras que permitiriam rememorar diferenciações espaciais por oposições analógicas do tipo anterior/posterior, próximo/distante, pequeno/grande, aberto/fechado, dinâmico/estático etc. As qualidades sonoras, artificialmente criadas, apontam para a definição de referenciais auditivos que auxiliem na compreensão e orientação espacial (MENEGOTTO, 2009). A proposta de qualificação sonora do espaço encontra nos dispositivos móveis e aplicações de microlocalização os seus aliados. Para diferenciar situações espaciais o edifício é mapeado e dividido em regiões, associadas com arquivos MIDI. Cada região pode ter sonoridades diferenciadas. Pode-se distinguir, por exemplo, áreas adjacentes utilizando diferentes timbres instrumentais, vários tempos ou alterações rítmicas. O sistema foi programado para reproduzir o MIDI em

dois modos: individualmente e em camadas sobrepostas, permitindo qualificar vários aspectos espaciais (um ostinato percussivo poderia indicar a presença de uma colunata, enquanto uma melodia de cordas sobreposta poderia indicam a existência de continuidade espacial). Evidentemente, as respostas às questões de um projeto de mapeamento sonoro pertencem ao domínio da imaginação e da subjetividade, não se pretende estabelecer uma sonoridade objetiva ou descritiva do espaço.

Figura 3: Sequenciamento e sobreposição de arquivos MIDI



Fonte: O autor.

Como a música é uma experiência de base cinética, o trabalho explora sensações de aceleração, desaceleração, descanso ou mudança de direção procurando formar um fluxo temporal de informação sonora. A combinação de situações sonoras significativas, associadas à forma e função espacial, torna-se um problema de design e comunicação.

Figura 4: Código para execução do MIDI

```
public void TocarMidi (string midi)
{
        string mus = https://sites.google.com/ , "a/pol.br/mapas/" + midi;
        Android.Net.Uri s = Pega_Uri(mus);
        player = MediaPlayer.Create (this, s);
        player.Start();
}
public void PararMidi ()
{
        AudioManager A= GetSystemService(Context.AudioService);
        if (A.IsMusicActive)
          {
              player.Stop();
          }
}
```

Fonte: O autor.

Sem pretender esgotar o repertório de possibilidades, são listados alguns aspectos espaciais que exemplificam as analogias espaço-musicais perseguidas. Amplitude: relacionada com a dinâmica musical forte/piano. Espaços fortes seriam aqueles cujos elementos arquitetônicos são formas que tendam a ser lidas como elementos ativos. Ao contrário, espaços piano, são caracterizados por formas que transmitem calma, descanso ou que tendam a ser percebidas como formas passivas.

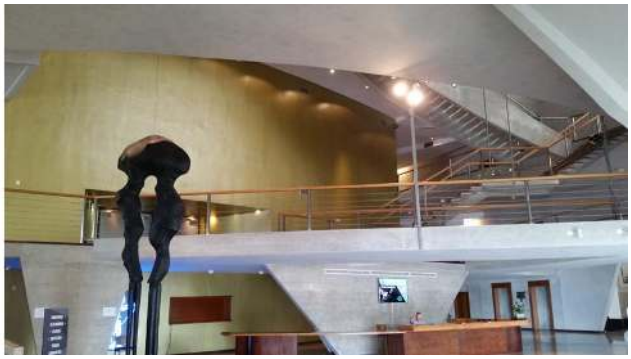
Figura 5: Esq.) Espaço forte: Cidade da Música, Rio de Janeiro. Dir.) Espaço piano: Teatro Ibirapuera, São Paulo;



Fonte: O autor.

Cacofonia: qualidade relacionada ao ordenamento. Espaços com eixos e limites claros ritmicamente ordenados ou espaços livremente estruturados, com fluxos de circulação aleatórios.

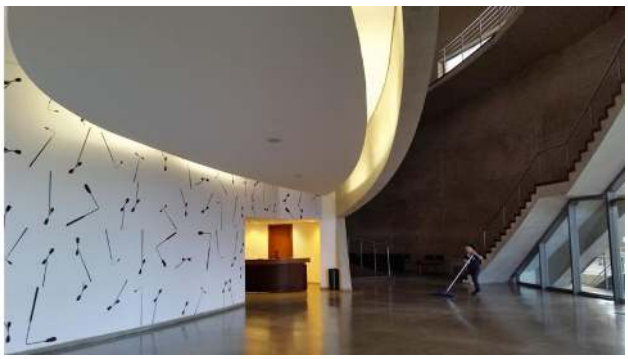
Figura 6: Esq.) Espaço rítmico: Palacete Valença, Rio de Janeiro. Dir.) Espaço cacofônico: Cidade da Música, Rio de Janeiro.

Fonte: O autor.

Densidade: qualidade relacionada à quantidade de elementos arquitetônicos no espaço (colunas, partições, móveis, etc.). Em termos musicais, um espaço monofônico/polifônico. Proporcionalmente, quanto mais objetos houver no espaço mais vozes participariam da polifonia. Pelo contrário, espaços rarefeitos são comparados a músicas monofônicas.

Figura 7: Esq.) Espaço denso: Centro Cultural da Caixa, Recife. Dir.) Espaço ralo: Cidade da Música, Rio de Janeiro.

Fonte: O autor.

3 RESULTADOS

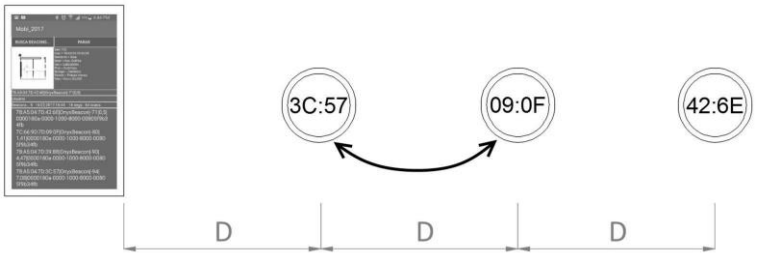
O método aborda três linhas de ação: 1) Problemas da interface física e lógica da infraestrutura de localização. *Beacons* BLE e lâmpadas LED foram integrados em API para dispositivo Android; 2) A combinação de design arquitetônico e composição musical; 3) Aspectos subjetivos relacionados à imageabilidade sonora do espaço. Os aspectos 2 e 3 são variáveis, devendo ser analisados e projetados caso a caso, mas ambos dependem da confiabilidade da resposta da infraestrutura de localização e de recursos para configurar uma área densa de *beacons* e lâmpadas para teste.

3.1 Testes de resposta

Embora a quantidade de dispositivos (*beacons* e lâmpadas) disponíveis para a experiencia tenha sido limitada, pretende-se adensar a malha da infraestrutura. Com esse objetivo, foram realizados testes em laboratório para verificar a velocidade de resposta da comunicação máquina a máquina entre dispositivos próximos, alinhando três *beacons* com o aparelho de telefone a distâncias de 30cm (D).

Foram realizados escaneamentos durante 60 segundos comutando rapidamente a posição dos *beacons* e verificando se o *beacon* capturado correspondia ao mais próximo do aparelho. No Quadro 1 são apresentados os resultados das respostas de comunicação. Com 20 erros (12 + 5 + 3) em 240 escaneamentos obteve-se um índice de acertos de ~92%. Para realizar a contagem dos erros, as respostas foram registradas em arquivos de texto.

Figura 8: Teste de velocidade de resposta.



Fonte: O autor.

Quadro 1. Erros de inferência de localização.

POSIÇÃO	DISTÂNCIA D	TEMPO	QUANT. DE ESCANEAMENTOS	ERROS
1	0.30 cm	60”	240	12
2	0.30 cm	60”	240	5
3	0.30 cm	60”	240	3

Fonte: O autor.

Para contar com uma infraestrutura de serviços de localização ininterrupta, de fácil manutenção e segura, pois é principalmente dirigida para a mobilidade assistida, ainda é necessário cumprir com alguns requisitos: aumentar a confiabilidade da localização acima de 95% e testar a resposta computacional dos telefones em uma infraestrutura densa. Um outro problema diz respeito ao consumo da bateria. Os fabricantes dos *beacons* testados estimam que a duração das baterias CR2032 seja de um ano, mas nossos testes apontaram um tempo de seis meses aproximadamente, além do consumo das baterias não ser uniforme. Isso implicaria em esforços de manutenção constante se a malha de *beacons* do edifício for densa. O uso de lâmpadas LED inteligentes soluciona parcialmente o problema, mas têm um custo maior e a emissão do sinal é interrompida quando as lâmpadas são desligadas. Pretende-se evoluir com o sistema, aprimorando a inferência de localização graças à possibilidade de leitura da direção do sinal, incorporada recentemente à versão 5.1 do padrão de comunicação BLE (BLUETOOTH, 2019).

REFERÊNCIAS

ALTBEACON. *The Open and Interoperable Proximity Beacon Specification*. Em https://altbeacon.org Acesso em janeiro de 2019.

SMART CARD ALLIANCE MOBILE & NFC COUNCIL. *Bluetooth Low Energy (BLE) 101: A Technology Primer with Example Use Cases*. 2014. Em https://www.securetechalliance.org. Acesso em janeiro de 2019.

BLUETOOTH. *Enhancing Bluetooth Location Services with Direction Finding*. Em https://www.bluetooth.com/bluetooth-resources Acesso em janeiro de 2019.

BLUETOOTH. The Case for Bluetooth Mesh. Em https://www.bluetooth.com/bluetooth-resources Acesso em abril de 2019

LYMBEROPOULOS, D., LIU, J., YANG, X., CHOUDHURY, R. R., HANDZISKI, V., SEN, S. *A Realistic Evaluation and Comparison of Indoor Location Technologies: Experiences and Lessons Learned*. in Proceedings of the 14th International Conference on Information Processing in Sensor Networks. ACM, 2015, pp. 178–189.

LYNCH, Kevin. A imagem da cidade. São Paulo: Martins Fontes, 2006.

MENEGOTTO, J. L. A Caixa de Música. Contraponto formal entre a Arquitetura e a Música. Tese de doutorado. Universidade Federal de Rio de Janeiro, 2009.

NOVAES, Rômulo D; MIRANDA, Aline S; DOURADO, Victor Z. Velocidade usual da marcha em brasileiros de meia idade e idosos. *Usual gait speed assessment in middle-aged and elderly Brazilian subjects*. Revista Brasileira de Fisioterapia, São Carlos, Brasil. v. 15, n. 2, p. 117-22. 2011.