

## **Sistema de Mapeamento Móvel: uma aplicação na engenharia aeroportuária.**

### ***Instructions for preparing papers to the 12th Congress of Multipurpose Technical Cadastre and Land Management***

**Giuliano Asinelli**

**Engefoto Engenharia e Aerolevamentos S.A**

Coordenador de Projetos

Rua Frei Francisco Mont'Alverne, 750

Jardim Santa Bárbara - Curitiba/PR

giulianoasinelli@engefoto.com.br

**Marco Antonio Neia**

**Engefoto Engenharia e Aerolevamentos S.A**

Gerente de Desenvolvimento de Negócios

Rua Frei Francisco Mont'Alverne, 750

Jardim Santa Bárbara - Curitiba/PR

marco.neia@engefoto.com.br

**Liane Ramos Da Silva**

**Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC**

Professora do Departamento de Engenharia Civil

Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima

Trindade, Florianópolis - SC, 88040-900

liane.ramos@ufsc.br

#### **Resumo**

O artigo apresenta o emprego desta tecnologia para identificação de deformidades em pistas de Aeroporto Brasileiro. O levantamento planialtimétrico com o emprego da tecnologia chamada *Mobile Mapping System* – MMS teve como objetivo de conseguir um “tapete” denso de pontos sobre a pista para melhor caracterizar a superfície do pavimento existente e da plataforma da pista, podendo assim obter um detalhado conhecimento do greide longitudinal e das seções transversais da mesma. Este trabalho foi desenvolvido pela empresa ENGEFOTO S.A e apresenta os conceitos envolvidos em todos os processos, a metodologia empregada para atingir os resultados esperados, mostra a aplicação completa e os testes para quantificar a precisão que se obteve com esta tecnologia.

**Palavras-chave:** Laser Scanner, levantamento planialtimétrico, aeroporto.

#### **Abstract**

The article presents the use of this technology to identify deformities of the tracks from Brazilian Airport. The planialtimetric survey with the use of technology called *Mobile Mapping System* - MMS aimed to get a "carpet" dense points on the track to better characterize the surface of the existing pavement and runway platform, thus being able to obtain a detailed knowledge of greide longitudinal and cross sections of the same. This work was developed by Engefoto S.A and introduces the concepts involved in all processes, the methodology used to achieve the expected results, shows the complete application and testing to quantify the accuracy was obtained with this technology.

**Keywords:** Laser Scanner, planialtimetric survey, airport.

## 1 INTRODUÇÃO

Novas tecnologias estão sendo desenvolvidas para coletar informações de superfícies ou de sólidos para diversas finalidades. Alguns destes processos estão bem difundidos e são muito utilizados na Engenharia. Já, outros, apesar de proporcionarem ótimos resultados, ainda estão em fase de testes e exploração. Esta evolução tecnológica vem fazendo com que os levantamentos se tornem cada vez mais rápidos e precisos. O mais recente nesta evolução é o levantamento através do sistema de varredura laser 3D (Laser Scanner).

O levantamento LASER Móvel Terrestre (MMS) vem se difundindo muito rapidamente nos últimos anos. As principais vantagens sobre os demais levantamentos são: a não necessidade de refletores para a coleta de distâncias aos objetos; a capacidade de gerar uma densa nuvem de pontos 3D de todo o objeto e a rapidez de coleta dos dados, podendo chegar até mais de 525.000 pontos por segundo.

São muitas as aplicações desta tecnologia, como: levantamento do como construído (*as built*), levantamento de monumentos para restauração, túneis, pontes, caracterizados pela grande complexidade dos elementos envolvidos.

Para gerar coordenadas tridimensionais de pontos sobre uma superfície, os aparelhos laser scanner 3D emitem pulsos de laser com auxílio de um espelho de varredura. Este pulso laser atinge o objeto e parte dessa energia volta para o sistema. Deste modo, é possível medir a distância entre o sensor e o objeto (DALMOLLIN e SANTOS, 2004).

O artigo apresenta o emprego desta tecnologia para identificação de deformidades em pista aérea em um Aeroporto Brasileiro. O levantamento planialtimétrico com o emprego da tecnologia chamada *Mobile Mapping System* – MMS teve como objetivo de conseguir um “tapete” denso de pontos sobre a pista para melhor caracterizar a superfície do pavimento existente e da plataforma da pista, podendo assim obter um detalhado conhecimento do greide longitudinal e das seções transversais da mesma.

Este trabalho foi desenvolvido pela empresa ENGEFOTO S.A e apresenta os conceitos envolvidos em todos os processos, a metodologia empregada para atingir os resultados esperados, mostra a aplicação completa e os testes para quantificar a precisão que se obteve com esta tecnologia.

## 2 OBJETIVO DO PROJETO

O levantamento planialtimétrico com o emprego da tecnologia chamada *Mobile Mapping System* (MMS) teve como objetivo adquirir uma densa e precisa nuvem de pontos de coordenadas conhecidas que permitisse a correta caracterização da superfície do pavimento existente e da plataforma da pista de decolagem, de modo a obter um detalhado conhecimento do greide longitudinal e das seções transversais da mesma. E, com isto, implantar ações de melhoria na pavimentação, com intuito de minimizar o acúmulo da lamina d’água que se forma na pista em dias de chuva.

### 3 MÉTODO

Para atingir objetivo proposto foram seguidas as seguintes etapas:

- Apoio de Campo;
- Cobertura de dados da pista através do levantamento com tecnologia de LASER-SCAN MÓVEL de alta definição;
- Processamento e geração dos produtos finais.

#### 3.1 Apoio de campo e Implantação de rede de referência

O apoio de campo consistiu de um conjunto de atividades de levantamentos topográficos e geodésicos para a determinação das coordenadas planimétricas, altitudes geométricas e altitudes ortométricas de diferentes pontos da pista 10/28 que são identificáveis também na nuvem de pontos, tendo como objetivo obter boa precisão nas coordenadas dos pontos da nuvem de pontos.

Os equipamentos utilizados nos serviços de apoio de campo foram:

- Um nível marca Leica modelo Sprinter 250M;
- Três Receptores de satélite GNSS, marca Javad, modelo Triumph-1;
- Uma Estação Total Marca Leica, Modelo TC-705;
- Uma Estação Total marca Topcon, modelo 2LS Cygnus KS102.

Primeiramente foi necessário implantar ponto de apoio (apoio básico ) com o objetivo de realizar o transporte de coordenadas dos vértices pertencentes à Rede Planimétrica de Alta precisão do IBGE para a área do projeto, minimizando desta maneira as distâncias entre o vértice base (coordenadas conhecidas) e os pontos a serem levantados. Esta base foi implantada a aproximadamente 2 km das cabeceiras da pista e a aproximadamente 230 m do eixo da mesma, como representado na Figura 1. Este transporte de coordenadas foi executado por meio da implantação de poligonal fechada, cujos vértices de saída e chegada pertencem à Rede Planimétrica de Alta precisão do IBGE.



Figura 01: Apoio Básico  
Fonte: Engefoto S/A

Para garantir a acurácia requerida no levantamento foi necessário implantar uma rede de referencia. Para tal, foram utilizados alvos, planimetricamente bem definidos, nos cantos das faixas centrais pintadas na pista, canto definido pela interseção das juntas do pavimento da pista

com a faixa lateral pintada nos bordos, cantos de quadrados pintados nas laterais da pista em torno de poços de visita e pontos definidos na base das luminárias.

Para determinar a altitude ortométrica destes alvos foram realizados nivelamento e contranivelamento geométrico, para que fossem utilizados como injunção na etapa de processamento das nuvens de pontos. A Figura 2 apresenta exemplos dos alvos selecionados.



Figura 2: exemplos de alvos.

Fonte: Engefoto S/A.

Para o georreferenciamento da rede de referência foi realizado um levantamento diferencial utilizando um receptor GNSS nos alvos localizados no eixo da pista, determinados de “P”, e também em alguns dos alvos em poços de visita e luminárias. Os demais pontos foram levantados utilizando uma Estação Total. A referência planimétrica de origem foram as coordenadas do vértice “CAB 28” localizado na cabeceira leste da pista.

Para o processamento da rede de referencia foram utilizados dois programas: 1) “GNSS SOLUTIONS” do pacote de programas SPECTRA PRECISION, utilizado para processar os dados coletados com receptor GNSS; e 2) “Sistema Topograph” do pacote de programas CHAR POINTER, utilizado para processar os dados coletados com Estação Total.

Os levantamentos com receptor GNSS fornecem altitudes geométricas relativas à superfície do elipsoide. Foram utilizados os pontos da rede de referência com altitudes ortométricas conhecidas para elaborar um Mapa Geoidal Relativo, podendo assim transformar as altitudes geométricas obtidas pelo receptor GNSS em altitudes ortométricas. O mesmo mapa foi também utilizado posteriormente para transformar as altitudes geométricas da nuvem de pontos gerada pelo perfilamento LASER em altitudes ortométricas.

Esta etapa é necessária para que toda a nuvem de pontos obtida pelo laser terrestre esteja num sistema de coordenadas único, e preferencialmente que este sistema seja o definido pelo projeto da obra. Para este projeto foi utilizado como referência o sistema de projeção UTM.

### 3.2 Escaneamento laser móvel (MMS)

O sistema MMS utilizado consiste em um veículo tipo caminhonete, ao qual estão embarcados uma plataforma inercial de navegação Applanix POS LV 420, um scanner LASER FARO Focus 3D. O Sistema Inercial (INS) utiliza dois receptores GNSS e um encoder rotativo montado na roda para a solução da trajetória. O sistema MMS está representado na Figura 3.



Figura 3: Sistema de Escaneamento LASER Móvel (MMS-Engefoto)  
Fonte: Engefoto S/A.

O equipamento LASER Scanner utilizado foi montado na forma invertida, para que o scanner pudesse imagear o chão. Foi operado utilizando os parâmetros de resolução 1/4 e qualidade 1x. Estes parâmetros resultam em uma frequência de coleta de 976 kHz, ou seja, uma coleta de 976.000 pontos por segundo.

Para garantir uma boa densidade da nuvem de pontos o veículo andou a uma velocidade média de 6 km/h, resultando em um tempo de coleta médio de 40 minutos por faixa levantada. A velocidade de operação do veículo somada com a frequência de coleta do equipamento resultou em uma densidade de aproximadamente 56.000 pts/m<sup>2</sup> na faixa ao longo da linha de deslocamento do veículo, até aproximadamente 80 pts/m<sup>2</sup> numa distância de 20 metros da trajetória de deslocamento do veículo, com distância de 2 cm entre as linha de leitura.

O escaneamento foi realizado através do levantamento de três faixas ao longo da pista, sendo uma faixa em cada lateral e uma no centro da pista.

Enquanto o MMS efetuava o levantamento das faixas ao longo das pistas, o receptor GNSS, instalado no vértice VT01 coletava os dados de satélites numa taxa de 1 segundo.

### 3.3. Processamento e geração dos produtos finais

O processamento dos dados obtidos no perfilamento LASER consiste na combinação dos diversos dados coletados no levantamento ( trajetória do veículo, altitude do sensor e retorno dos sinais emitidos), com o objetivo de determinar a posição dos pontos na superfície terrestre através da determinação das coordenadas tridimensionais X, Y e Z dos pontos registrados em cada pulso LASER.

Estes dados foram pós-processados utilizando computadores apropriados para a manipulação e processamento dos dados, e softwares específicos como POSPAC e DASHMAP. O processamento dos dados teve início com a obtenção da melhor trajetória. Em seguida os dados LASER foram processados utilizando a trajetória pós-processada na etapa anterior, além dos arquivos brutos LASER, parâmetros de calibração do sistema MMS, seleção do elipsoide, datum, projeção, entre outras informações necessárias para o processamento.

Esta etapa foi executada a partir da interpolação da melhor trajetória obtida com a nuvem de pontos do sensor laser. Em seguida ao processamento, os arquivos da nuvem de pontos georreferenciada foram convertidas para o formato LAS (formato específico dos arquivos LASER), o qual contém todas as informações provenientes do levantamento (coordenadas E, N, H e intensidade de retorno do pulso LASER). O sistema geodésico de saída dos dados LASER é o WGS 84 e a altitude é baseada no elipsoide (altitude geométrica).

Após o processamento, os dados levantados foram validados com o objetivo de verificar a completude e conformidade dos dados na área do projeto. Para tal, foi utilizado o software TerraScan, onde foram carregados os dados LASER (Figura 4) com uma filtragem pré-determinada para verificar o recobrimento da área de interesse.

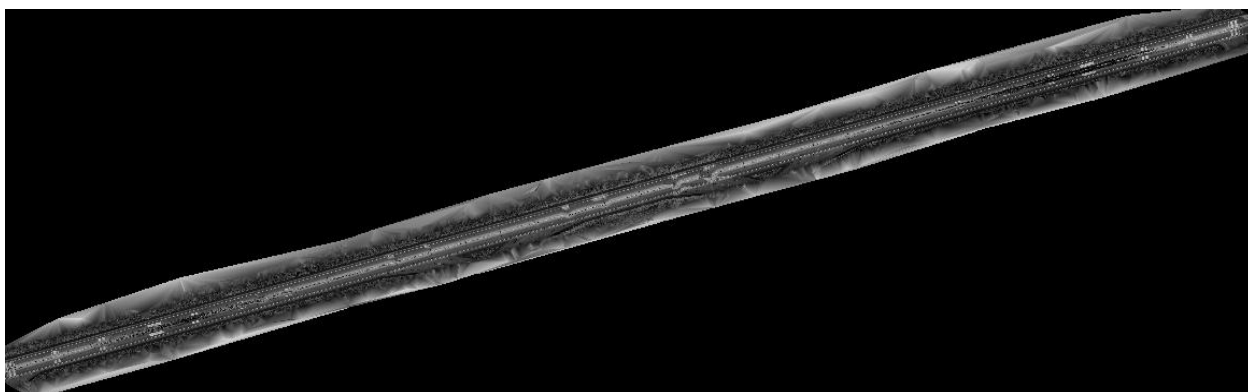


Figura 4: Visualização dos dados do perfilamento LASER  
Fonte: Engefoto S/A.

Após esta verificação, a nuvem de pontos passou por um processo de adequação às especificações técnicas do projeto e a classificação dos dados processados para a geração dos produtos requeridos. Neste processo utilizou-se os programas TerraScan e TerraModeler da TerraSolid. O programa TerraScan também foi utilizado para a validação altimétrica dos dados após a realização do ajuste geoidal para a obtenção das altitudes ortométricas, utilizando os pontos levantados topograficamente em campo.

Assim que finalizada a etapa de validação altimétrica dos dados LASER, a nuvem de pontos resultante foi então segmentada em folhas utilizando o software TerraScan e uma folha de articulação adotada para o projeto.

### 3.3.1 Geração do modelo digital de elevação e terreno (MDE)

Para a elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE) os objetos presentes na nuvem de pontos, tais como: terreno, veículos, pessoas, objetos presentes na pista, entre outros, foram identificados e classificados. Os pontos espúrios e aqueles que não caracterizam a pista, lateral da pista e sinalização, foram eliminados. Exemplos destes dados estão representados na Figura 5.

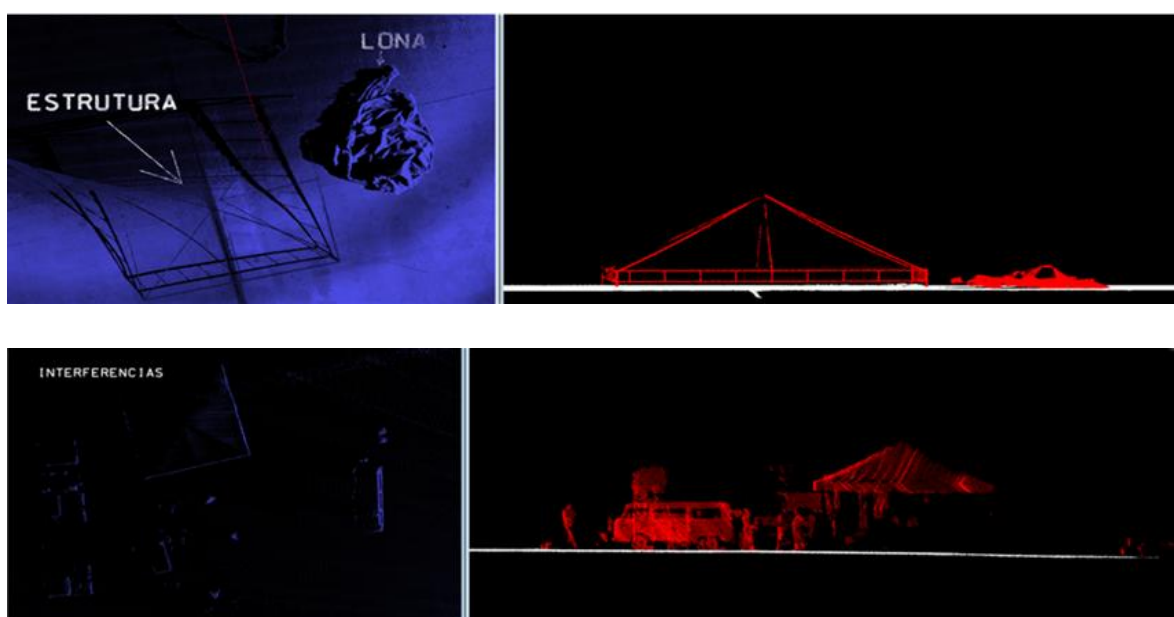


Figura 5: exemplos de pontos acima da pista caracterizados como interferências.  
Fonte: Engefoto S/A.

Após a classificação do MDE, o arquivo foi salvo e utilizado como base para a geração da nuvem de pontos MDT (Modelo Digital do Terreno) e para a geração das imagens de intensidade. O MDT representa a variação do relevo em uma região da superfície terrestre. O MDT foi preparado através de programas computacionais específicos que identificam os elementos altimétricos, transformando-os em uma superfície que representa o relevo.

Para a classificação do MDT foi utilizado o software TerraScan. Esta classificação foi baseada em parâmetros de classificação conforme a declividade da região trabalhada. Os pontos não pertencentes ao terreno foram separados levando-se em conta a distribuição geométrica e altitude.

Depois da classificação, dois conjuntos de pontos foram gerados: MDS (Modelo Digital de Superfície) e MDT (Modelo Digital do Terreno), representados na Figuras 6.

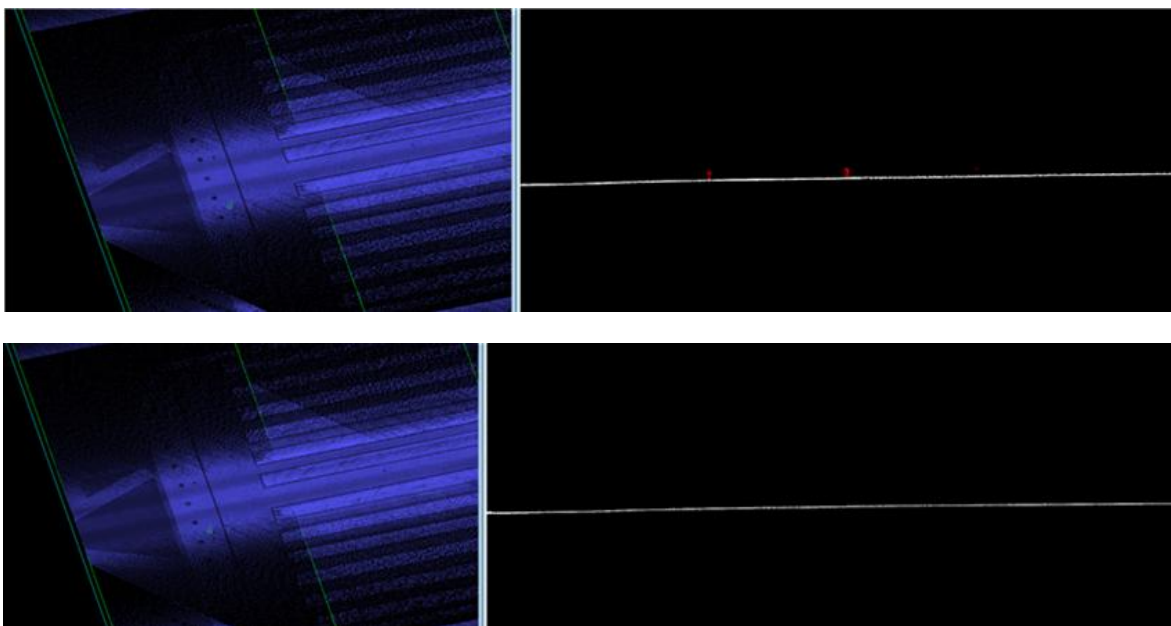


Figura 6: exemplo – MDT e MDS  
Fonte: Engefoto S/A.

Com base nos MDT e MDS foi possível gerar imagem de intensidade da área mapeada, conforme mostra a figura 7. E, a partir da obtenção do MDT, foi realizada a etapa de extração das curvas de nível.

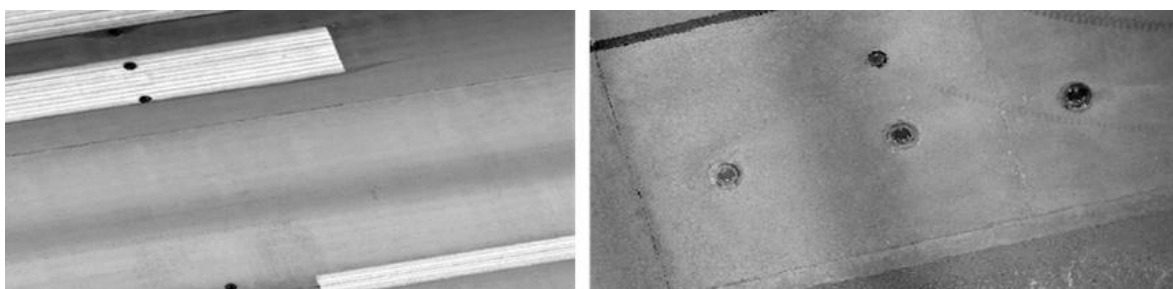


Figura 7: imagem de intensidade.  
Fonte: Engefoto S/A.

### 3.3.2 Geração de curvas de nível

As curvas de nível foram realizadas a partir de uma malha regular com espaçamento de 10 cm, gerada com base no MDT. Para tal, foi utilizado o programa TerraModeler, obedecendo a uma equidistância de 1 centímetro. As curvas de nível foram geradas de 1 em 1 cm, no entanto representadas de 5 em 5cm para deixar a planta menos densa, como exemplificado na figura 14.

### 3.3.3 Planta de Perfil e Secções Transversais

Para cada faixa escaneada foi gerado a Planta de Perfil, com escala horizontal de 1:500 e um exagero vertical na escala de 1:50, exemplos destes dados estão representados na Figuras 8

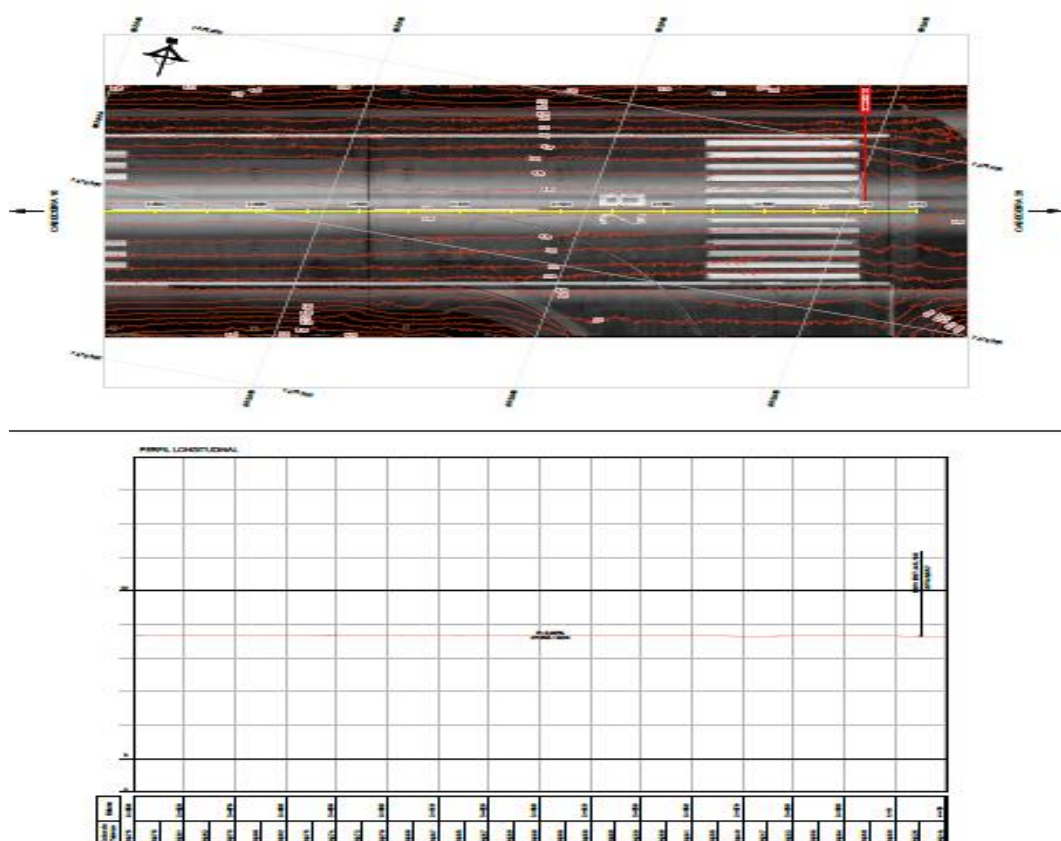


Figura 8: planta perfil.  
Fonte: Engefoto S/A.

Com o eixo da faixa já determinado, a próxima etapa foi a construção das secções transversais. Com ferramentas específicas para tal procedimento, o programa utilizou como referência o eixo da faixa para gerar as secções através das nuvens de pontos.

Esse procedimento foi realizado de forma automática, ou seja, sem interferência do operador, pois o programa reconhece a informação referente ao eixo da faixa que foi definido anteriormente, e gera as secções espaçadas de acordo com o solicitado. Foi definido um intervalo de 20 metros entre as secções. As plantas foram geradas na escala de 1:200. A Figura 9 mostra as secções geradas sobre a nuvem de pontos ao longo de um trecho da faixa da pista. No entanto, seção transversal pode igualmente ser gerada em escala deformada para melhor representar os defeitos de pavimento.

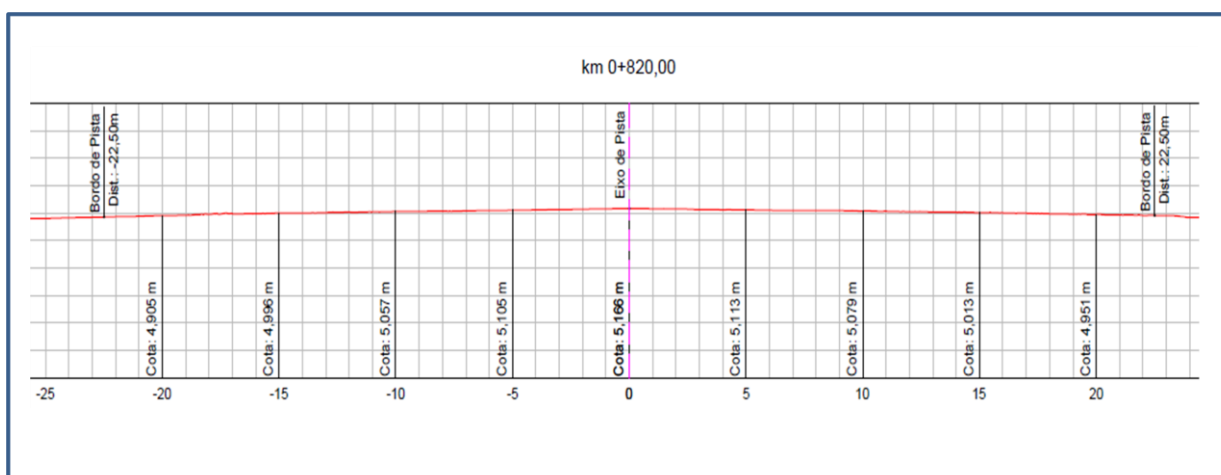


Figura 9: seção transversal.  
 Fonte: Engefoto S/A.

#### 4. VALIDAÇÃO E AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA

A verificação da qualidade altimétrica do perfilamento laser foi realizada pela comparação do encaixe da superfície gerada com pontos de controle coletados em campo (check points). Os pontos foram escolhidos de modo que sua distribuição resultasse na garantia da qualidade altimétrica do levantamento ao longo de toda a extensão da pista. Os pontos foram escolhidos em locais planos, evitando injunções devidas à inclinação do terreno ou as feições projetadas do terreno. A preferência de escolha de pontos de controle considerou elementos de referência planimétricas bem caracterizados como apoio suplementar, a fim de certificar a relação posicional.

A validação do perfilamento laser foi realizada levando em consideração as coordenadas dos pontos de campo localizados no chão, como: base de luminária, cantos de faixa, cantos PV e juntas. Foram utilizados 377 pontos de controle, onde se obteve uma média de  $-0,003$  m (3 mm), desvio padrão de  $0,016$  m (16 mm) e um RMS de  $0,016$  m (16 mm).

Diante do exposto, percebe-se que os resultados foram excelentes, atendendo as expectativas previstas no objetivo do trabalho. Uma vantagem, proveniente do método utilizado é que a qualquer momento pode-se obter novas informações diretamente da nuvem de pontos. As secções podem ser geradas com espaçamentos menores, proporcionando uma nova série de dados para serem analisados, o que não acontece utilizando outras técnicas que coletam informações somente nos locais definidos a priori, por exemplo, em secções especificadas e com certo espaçamento.

Com a metodologia também foi possível visualizar vários detalhes existentes na pista que poderiam ser encobertos se o levantamento fosse realizado de maneira tradicional, utilizando como exemplo uma estação total.

#### 5. CONCLUSÕES

O Perfilamento Laser Móvel Terrestre tem um alto potencial a ser explorado. É uma tecnologia considerada ainda recente no Brasil, com uma grande margem para futuros

desenvolvimentos. De acordo com o apresentado, pode-se concluir que este tipo de equipamento pode ser caracterizado pela boa precisão, alta densidade de pontos levantados, pouco tempo necessário para adquirir uma enorme quantidade de dados e elevada automação para o processamento dos dados.

Para o eficiente uso desta tecnologia, é necessário que o usuário esteja familiarizado com os princípios básicos de operação, funcionamento do equipamento e limitação da tecnologia. Esta tecnologia mostrou-se bem eficaz para projetos de caracterização da superfície do pavimento existente e da plataforma da pista, tendo em vista a quantidade de dados gerados e a confiabilidade dos mesmos.

### **Referências Bibliográficas**

ENGEFOTO S/A. Relatório técnico apresentado a contratante. 2016.

DALMOLLIN, Q.; SANTOS, D.R. Sistema Laserscanner: conceitos e princípios de funcionamento. 3ª edição – UFPR – Curitiba/PR – Brasil. 2004.