



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

OTIMIZAÇÃO DE NUVENS DE PONTOS DENSAS PARA SOFTWARES DE VISUALIZAÇÃO EM AMBIENTE DE REALIDADE VIRTUAL

Felipe Figueredo Rocha, felipemech@gmail.com¹
Carlos Magno de Lima, cmagno@ufrnet.br¹
Ângelo Roncalli Oliveira Guerra, aroncalli@uol.com.br¹
Matheus Marlon Marcelino, cpmatheus@gmail.com¹

¹UFRN, Caixa Postal 1524 - Campus Universitário Lagoa Nova - CEP 59072-970 Natal - RN – Brasil

Resumo: *Com o avanço da capacidade de processamento dos computadores existe uma tendência em engenharia de somar aos tradicionais modelos bidimensionais os modelos tridimensionais. Representações geométricas tridimensionais podem ser obtidas através de modelagem geométrica ou por escaneamento 3D de estruturas já existentes com posterior processamento em ambientes CAD. Dentro desta realidade é muito vantajoso o emprego de técnicas de engenharia reversa como forma de capturar nuvens de pontos através da Tecnologia Laser Scan 3D. Essas nuvens são geralmente muito densas o que a dificulta a manipulação através de transformações geométricas, com isso é necessário a implementação de softwares com algoritmos que otimize seu tratamento.*

Palavras-chave: *Automação de Projetos; Nuvem de Pontos; Realidade Virtual; Laser Scan 3D; CAD 3D*

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da capacidade de processamento dos computadores existe uma tendência em engenharia de somar aos tradicionais modelos bidimensionais os modelos tridimensionais. Representações geométricas tridimensionais podem ser obtidas através de modelagem geométrica ou por escaneamento 3D de estruturas já existentes com posterior processamento em ambientes CAD. Dentro desta realidade é muito vantajoso o emprego de técnicas de engenharia reversa como forma de capturar nuvens de pontos através da Tecnologia Laser Scan 3D. A tecnologia laser scanner corresponde a captura tridimensional do modelo real através de pulsos a laser. Esta permite de forma rápida e segura a obtenção de dados em forma de nuvens de pontos a partir de medições sem contato, que representam o espaço tridimensional do objeto. Tomando como exemplo uma planta industrial, teríamos a obtenção da representação espacial com o posicionamento exato de equipamentos, tubulações, construções, instrumentos, finalmente de todos os elementos que compõem a planta. A captura destes dados demanda o armazenamento de milhares de pontos, que geralmente são representados por uma nuvem de pontos muito densa cuja finalidade é revelar mais detalhes sobre a geometria da peça. Isso gera dificuldades de manipulação em softwares de visualização, tornando transformações geométricas como rotação e translação, entre outras excessivamente lentas. Surge então a necessidade de criar alternativas que contornem essa situação, oferecendo a possibilidade de otimização na quantidade de pontos exibidos ao usuário do software. Além deste fato, associamos as dificuldades impostas na interpretação das nuvens de pontos utilizando interfaces bidimensionais. A Realidade Virtual é uma técnica avançada de interface, onde o usuário pode realizar imersão, navegação e interação em um ambiente sintético tridimensional gerado por computador, utilizando canais multisensoriais. Esta técnica aparece como ferramenta auxiliar na manipulação das nuvens de pontos, permitindo com maior facilidade a localização espacial de regiões a serem manipuladas pelos modeladores CAD. Este trabalho utiliza modernas técnicas de Programação Orientada a Objetos na implementação de algoritmos para a otimização de nuvens de pontos densas. Estes algoritmos serão utilizados no desenvolvimento de software para ambiente de Realidade Virtual que utilize tais modificações exemplificando como é possível o melhoramento brusco no tempo de processamento para operações de transformações geométricas que são constantemente utilizadas na visualização de peças e estruturas, assim como estudar os benefícios da utilização da tecnologia de Realidade Virtual, na manipulação de nuvens de pontos, tendo como objeto de investigação o escaneamento a Laser 3D de uma Planta Piloto de Avaliação e Medição de Petróleo.

2. CAPTURA E VISUALIZAÇÃO DE NUVEM DE PONTOS

Dentre as primitivas utilizadas pela computação gráfica estão os polígonos, triângulos, círculos e a mais básica de todas, o ponto. Recentemente grandes esforços de pesquisa têm voltado sua atenção a essa primitiva, principalmente quando se encontra em grandes quantidades formando a chamadas nuvens de pontos.

A razão para se trabalhar com nuvens de pontos são duas: primeiramente é que as nuvens de pontos é o formato nativo da tecnologia Laser Scanner 3D. Além disso, nuvens de pontos é um formato extremamente simples e flexível para representação de modelos de geometrias complexas, pois evita o uso de informação de conectividade e consistência topológica como descrito por Katz e Basri (2007).



Figura 1. Nuvens de pontos, imagem retirada de M. Gross and H. Pfister,2007.

2.1. Engenharia Reversa e Técnicas para obtenção de nuvens de pontos

Segundo Saxena e Sahay (2005), Engenharia Reversa é o processo de criar a representação geométrica por meio de componentes ou de protótipos já existentes . Esta representação é obtida através de escaneamento 3D ou instrumentos de medidas gerando nuvens de pontos. Uma das principais técnicas para aquisição desses dados se dá a partir do uso das chamadas máquinas de medição de coordenadas (CMM), vide Fig. (2). Jacobs (2005), observa que nos últimos anos a tecnologia Laser Scanning 3D (LS3D) se tornou certamente a mais poderosa técnica de obtenção de pontos proporcionando nuvens de pontos 3D com resolução de 1,2mm, tendo uma taxa de até 120.000 pontos por segundo aquisição .



Figura 2. Máquina de Medição de Coordenadas (CMM), modelo Mitutoyo Legex 910 .

As formas para aquisição de pontos se dividem basicamente nos métodos com ou sem contato físico como verificado na Fig. (3). As máquinas do tipo CMM constituem um exemplo dos métodos com contato, consiste em braços robóticos que fazem as medidas que em geral são relativamente lentas para partes mais intrincadas.

Entre os métodos sem contato físico se enquadram os métodos óticos, acústicos e magnéticos. Os métodos acústicos usam ondas sonoras que ao refletirem na superfície do objeto e ao serem captadas traduzem as informações em distância, esse método produz uma quantidade de ruído relativamente alto para aplicações em engenharia, mas pode ser usado com sucesso em medições geológicas onde a tolerância ao ruído é maior. Os métodos magnéticos mais conhecidos são essencialmente usados na área biomédica onde não é possível usar a luz para obter dados internos, exemplo destes é a Tomografia Computadorizada e Imagem por Ressonância Magnética.

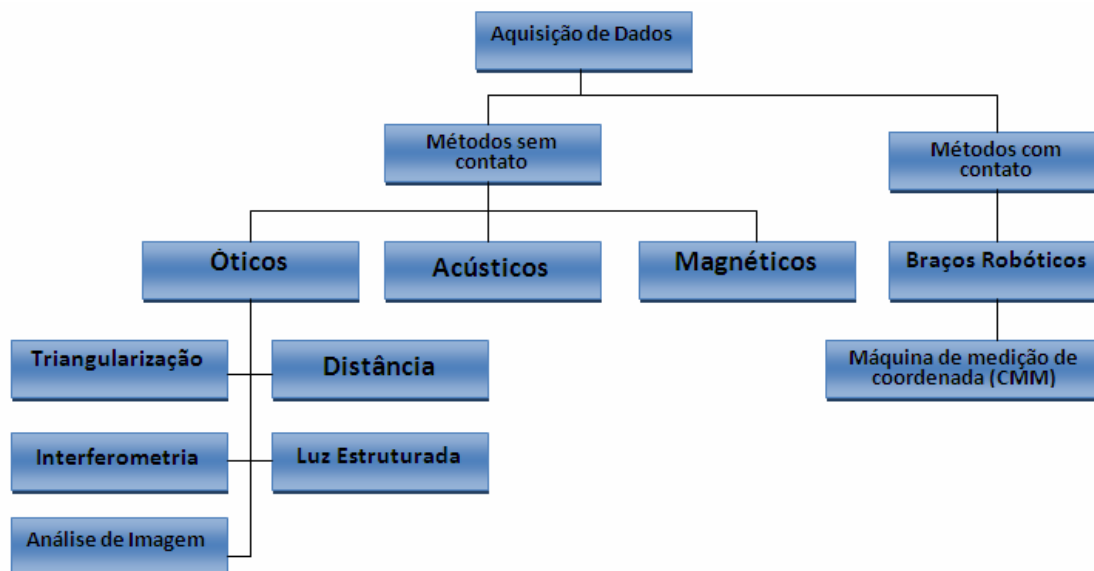


Figura 3. Métodos de aquisição de nuvens de pontos.

Finalmente classificamos métodos óticos de acordo com seu princípio de operação em:

Triangularização - Esse método usa da angulação entre os emissores e sensores para determinar a posição de um ponto na superfície. Proporciona obtenções de pontos a altas taxas, bem como com boa resolução.

Métodos de distância - É baseado em feixes de luz pulsantes, usando o tempo de vôo ou percurso do raio de luz, é possível calcular a distância do ponto. Existe uma variante desse método que usa a diferença de fase entre o feixe emitido e refletido para obter as informações de localização.

Luz Estruturada - Esse método usa a emissão de padrões de luzes na superfície do objeto, e através do padrão refletido, faz-se uma análise complexa para determinar a nuvem de pontos.

Análise de Imagem - É semelhante ao método de luz estruturada, sendo que este usa pares estéreos para determinar as coordenadas de profundidade do objeto.

Interferômetro - Esse método usa padrões de interferência para calcular em termos de comprimentos de ondas a posição dos pontos. Este constitui um método bastante preciso, sensível as distâncias da ordem de comprimentos de ondas.

2.2. Tecnologia Laser Scan 3D (LS3D)

A tecnologia Laser Scanning 3D corresponde à captura tridimensional do modelo real através da varredura de pulsos de laser. Esta permite de forma rápida e segura a obtenção de dados em forma de nuvens de pontos que representam o espaço tridimensional do objeto.

Os equipamentos Laser Scanner 3D, Fig. (4), são definidos como dispositivos de emissão a laser, geralmente pulsado, que registram e gravam coordenadas tridimensionais de uma dada região do objeto. São classificados pelos métodos de medição por distância e pelo método da triangulação.



Figura 4. Equipamento Laser Scan 3D - Leica

Por Jacobs (2004), os principais benefícios do uso da tecnologia Laser Scan 3D são encontrados em aplicações onde: a confiança no “as-built” é extremamente importante; há necessidade de reuso de dados posteriormente; há o uso dos dados por equipes multidisciplinares; possíveis mudanças futuras.

Dentre as diversas aplicações podemos destacar as aplicações na indústria de óleo e gás, pois com o consumo crescente desses produtos, vem se exigindo que as unidades de produção e refino sejam renovadas com uma frequência relativamente alta, a fim de modernizar e aumentar a capacidade de produção e exploração.

Além das características anteriores uma planta petrolífera possui peças de geometrias complexas e de difícil acesso como inúmeras tubulações aquecidas e ou transportando produtos tóxicos e corrosivos, expondo os operadores a situações de risco. Peças com grande quantidade de detalhes ou de pequenas dimensões necessitam ainda do recurso da alta definição, permitida pelo processo de aquisição de nuvem de pontos por estes equipamentos. Em nosso trabalho utilizamos o equipamento Laser Scan 3D HDS, aplicado ao escaneamento de uma unidade de medição e avaliação de petróleo. Abaixo na Fig. (5) podemos observar a nuvem de pontos coletada.

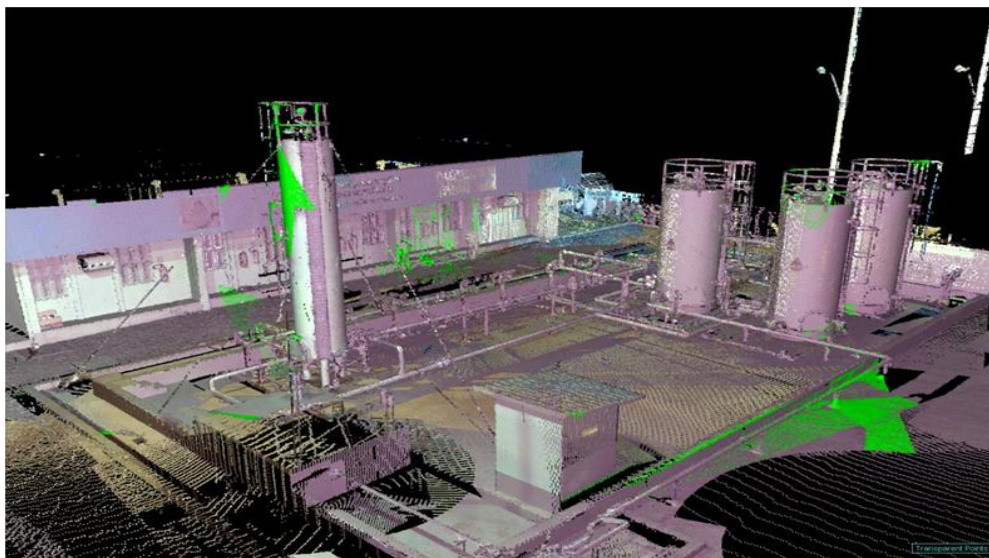


Figura 5. Nuvem de pontos do LAMP-UFRN

2.3. Realidade Virtual

Em Aukstakalnis & Blatner (1992), Realidade Virtual é definida como uma forma das pessoas visualizarem, manipularem e interagirem com computadores e dados extremamente complexos. Segundo Lima (2001) pode ser caracterizada como sendo a junção de três idéias básicas: imersão, interação e envolvimento.

Esta técnica permite que você navegue e visualize, em tempo real, um mundo em até três dimensões, com 6 (seis) graus de liberdade (6GDL). Isto mostra a capacidade do software definir, e a capacidade do hardware de reconhecer, seis tipos de movimento: para frente/para trás, acima/abaixo, esquerda/direita e rotação horária e anti-horária em torno dos eixos X, Y e Z, Fig. (6). O usuário pode interagir em tempo real com o mundo virtual e manipular diretamente os objetos ao seu redor.

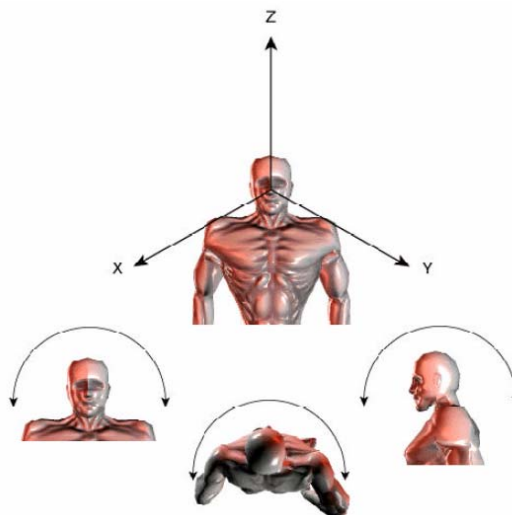


Figura 6. O mundo em três dimensões e 6GDL (Lima, 2001)

Normalmente, um sistema imersivo é obtido com o uso de capacete de visualização, mas existem também sistemas imersivos baseados em salas com projeções das visões nas paredes, teto, e piso. A sensação visual de imersão está ligada diretamente a apresentação tridimensional dos objetos, com a sensação de profundidade, alcançada a partir da visualização estereoscópica.

A visualização de nuvens de pontos em ambientes de Realidade Virtual utilizando-se técnicas de estereoscopia proporciona um melhor entendimento do espaço tridimensional, aumentando o realismo e melhorando sensivelmente a capacidade de decisão das equipes envolvidas no projeto.

Explorando os aspectos relevantes da tecnologia de Realidade Virtual, desenvolvemos um ambiente que permite a visualização estereoscópica das nuvens de pontos e onde aplicamos os algoritmos com a finalidade de flexibilizar as operações com transformações geométricas.

3. TRABALHANDO COM A NUVEM DE PONTOS

Durante o uso de softwares de visualização o usuário está constantemente através de movimentos do mouse realizando várias transformações geométricas para visualizar detalhes da peça. Quando os modelos são simples, o tempo para realização desses cálculos é quase imperceptível, mas basta aumentar o número de primitivas que o tempo de processamento se torna um empecilho para a visualização rápida e eficaz do modelo tridimensional.

Para o leitor compreender o grau de complexidade das transformações geométricas realizadas por softwares de visualização tridimensional, e ter idéia de como elas afetam o desempenho da visualização durante sua realização, mostramos aqui o conjunto de matrizes responsáveis pelas operações de rotação em torno dos eixos x, y e z individualmente. Ver Fig (7).

$$R(\theta_x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_x & \sin \theta_x \\ 0 & -\sin \theta_x & \cos \theta_x \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$R(\theta_y) = \begin{bmatrix} \cos \theta_y & 0 & -\sin \theta_y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_y & 0 & \cos \theta_y \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R(\theta_z) = \begin{bmatrix} \cos \theta_z & -\sin \theta_z & 0 \\ \sin \theta_z & \cos \theta_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Figura 7. Matrizes de Rotação em torno dos eixos X, Y e Z

Sabemos que estas operações não ocorrem individualmente, assim fazendo-se o produto das três matrizes de rotação, na ordem descrita abaixo obteremos a representação da matriz de rotação. Ver Fig (8).

$$R(\theta_x)R(\theta_y)R(\theta_z) = \begin{bmatrix} \cos \theta_x \cos \theta_y & \sin \theta_x \sin \theta_y \cos \theta_z - \cos \theta_x \sin \theta_z & \cos \theta_x \sin \theta_y \cos \theta_z + \sin \theta_x \sin \theta_z \\ \cos \theta_y \sin \theta_x & \sin \theta_x \sin \theta_y \sin \theta_z + \cos \theta_x \sin \theta_z & \cos \theta_x \sin \theta_y \sin \theta_z - \sin \theta_x \cos \theta_z \\ -\sin \theta_y & \sin \theta_x \cos \theta_y & \cos \theta_x \cos \theta_y \end{bmatrix} \quad (4)$$

Figura 8. Produto das Matrizes de Rotação em torno dos eixos X, Y e Z

Neste caso qualquer rotação no espaço pode ser obtida mediante o produto das três rotações em torno de cada um dos eixos coordenados aplicado a nuvem de pontos. Quanto menor for o numero de pontos a ser renderizado neste momento, mais rápida será a manipulação dos dados.

No desenvolvimento de nosso software de visualização de nuvens de pontos em ambientes de Realidade Virtual, nos deparamos com este problema, o que nos motivou a desenvolver algoritmos de otimização para manipulação de nuvens de pontos densas.

4. ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO

Agora que já foram apresentados os problemas de processamento relacionado a nuvens de pontos densas vamos discutir como o nosso algoritmo contorna esse tipo de situação. Primeiramente reconhecemos a importância de se ter nuvens de pontos densas e com alta resolução, o que garante maior fidelidade a visualização do objeto capturado. Em contrapartida observamos que durante sua manipulação não se faz necessária a visualização de toda a estrutura capturada em tempo real.

Desta forma, passamos a analisar as seguintes hipóteses relacionadas com a captura da nuvem de pontos e o sua distribuição nos arquivos de armazenamento. A primeira hipótese seria que a nuvem de pontos gerada estivesse armazenada de forma não ordenada. Na segunda hipótese a nuvem de pontos estaria armazenada de forma sequencial, como por exemplo, da direita para esquerda ou de baixo para cima.

Constatamos que a primeira hipótese estaria descartada, devido a características do processo de escaneamento. Adotou-se, portanto reduzir de forma linear e esparsa a nuvem de pontos, conforme descrevemos abaixo:

Seja $A_{m \times n}$ uma matriz que chamaremos de matriz segundo a lei de formação: $a_{ij}=(i-1)n+j$. Associando a matriz a uma malha teríamos para um exemplo de uma matriz $A_{2 \times 3}$ a seguinte associação como vemos na Fig. (9).

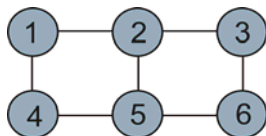


Figura 9. Representação matricial conforme a lei de formação.

Para minimizarmos a quantidade de pontos visualizados durante as transformações geométricas, podemos selecionar os pontos a serem mostrados a partir de um passo p constante iniciado a partir do primeiro ponto. Nesse caso mostraríamos os pontos de acordo com a seguinte seqüência:

$$1, 1 + p, 1 + 2p, \dots, 1 + k * p \quad (5)$$

Onde k é um inteiro e representa a quantidade de saltos que foram dados na nuvem, isto é, k é o maior número inteiro natural possível tal que:

$$1 + k * p \leq m * n \quad (6)$$

O valor de k pode ser calculado segundo a Eq (7). abaixo, onde *floor* é uma função que remove as casas decimais, resultando um k válido segundo sua definição.

$$k = \text{floor}\left[\frac{(m * n) - 1}{p}\right] \quad (7)$$

Como exemplo se fixarmos $p = 3$, para uma matriz $A_{5 \times 4}$, através da fórmula acima encontramos $k = 6$. Resultando como seqüência a ser visualizada os pontos de índice (1,4,7,10,13,16,19), ou seja $k + 1 = 7$ pontos serão mostrados.

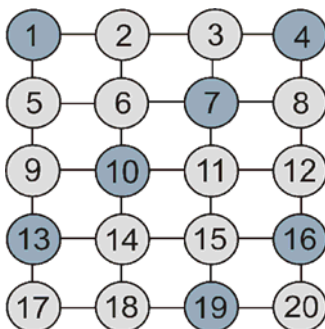


Figura 10. Representação da Matriz $A_{5 \times 4}$ aplicando-se um passo $p = 3$.

Um número interessante a ser analisado é razão entre a quantidade de pontos exibidos e a total. Como vimos no exemplo acima a quantidade de pontos mostrado é $k + 1$, e a quantidade de pontos totais é $m * n$. Fazendo o número $m * n$ ser muito grande podemos simplificar a expressão para:

$$Ne = \frac{1}{p} \quad (8)$$

Onde Ne é a razão de quantidade de pontos mostrado e p é o passo. Se quisermos calcular o inverso, isto é, dado uma razão desejada calcular qual seria o passo. Na expressão abaixo a função *round* arredonda p para o número mais próximo.

$$p = \text{round}\left(\frac{1}{Ne}\right) \quad (9)$$

5. RESULTADOS OBTIDOS

Utilizamos modernas técnicas de programação orientada a objetos na implementação do algoritmo desenvolvido, tendo como meta agregá-lo ao sistema de visualização estereoscópica. As bibliotecas de software livre QT e OpenGL foram utilizadas com sucesso em ambiente Windows e Linux.

Como objeto de observação, utilizamos a nuvem de pontos obtida a partir de trabalho com equipamento Laser Scan 3D HDS, aplicado ao escaneamento de uma unidade de medição e avaliação de petróleo, conforme podemos observar na Fig (5).

O algoritmo desenvolvido foi capaz de provocar uma redução uniforme na quantidade de pontos manipulados nas transformações geométricas com relação a todo o universo de pontos estudado. Evitando assim o aparecimento de falhas que comprometessem a identificação dos objetos tridimensionais ali presentes.

Abaixo apresentamos uma série de imagens correspondentes à manipulação de uma nuvem de pontos densa, com reduções do número de pontos exibidos ao se utilizar transformações geométricas, ou seja, ao se movimentar a nuvens de pontos com o mouse ou com o uso de teclas auxiliares. O programa permite o ajuste na redução com a especificação do N_e (Point Sample). No primeiro caso ,Fig. (11), visualizamos a nuvem de pontos com 100% dos pontos capturados pelo Laser Scan3D.

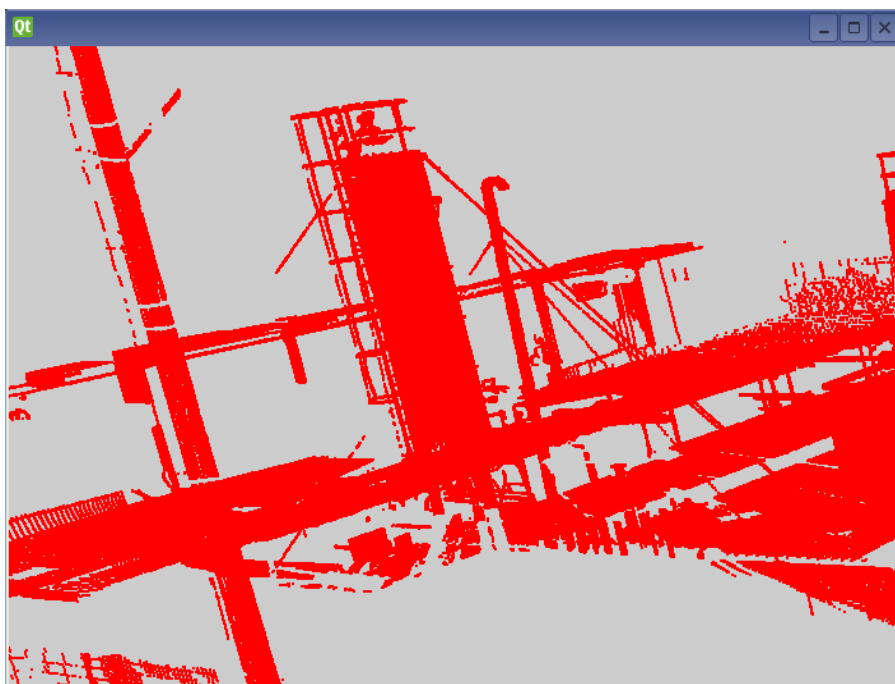


Figura 11. Visualização de 100% dos pontos capturados pelo Laser Scan 3D.

Diversos experimentos foram realizados, variando o valor de N_e (Point Sample) sendo observado ganhos consideráveis na manipulação das nuvens de pontos, sem prejuízo a visualização dos dados em ambiente de visualização estereoscópica. Ver as Fig. (12) e Fig. (13), com reduções de 50 e 90% dos pontos presentes na nuvem de pontos.

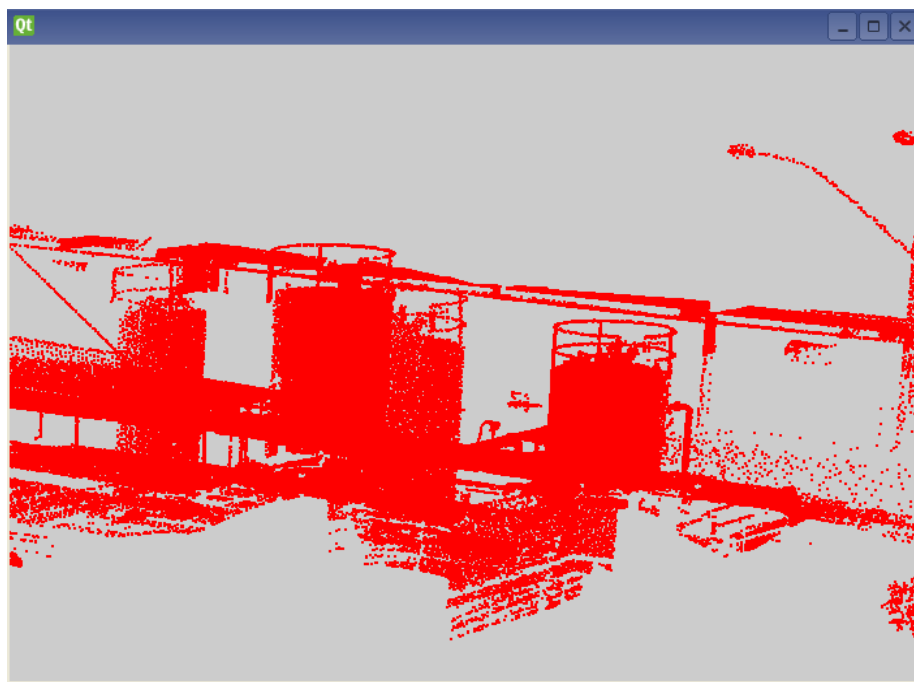


Figura 12. Visualização de 50% dos pontos capturados pelo Laser Scan 3D.

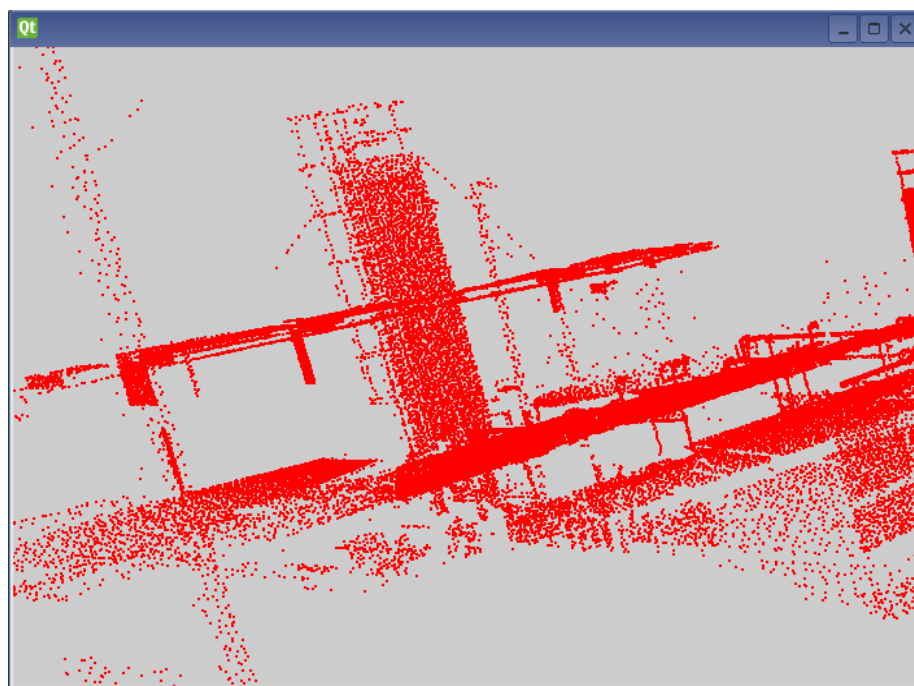


Figura 13. Visualização de 10% dos pontos capturados pelo Laser Scan 3D.

6. CONCLUSÕES

Neste trabalho implementamos algoritmos para a otimização de nuvens de pontos densas obtidas a partir da captura de dados com a tecnologia Laser Scan 3D. Os mesmos foram incorporados a um browser de visualização tridimensional utilizando a tecnologia de Realidade Virtual. Observamos que na maioria dos casos o número de pontos obtidos na captura ultrapassa a capacidade de manipulação quando submetidos a transformações geométricas, tais como, rotação, translação, entre outras. Desenvolvemos e apresentamos um algoritmo simples de otimização, que permite maior fluidez na movimentação destas nuvens de pontos densas quando submetidas a tais operações. Utilizamos tecnologia Orientada a Objetos na implementação do algoritmo e no desenvolvimento do visualizador com sucesso em ambiente multi-plataforma. A visualização de nuvens de pontos em ambientes de Realidade Virtual utilizando-se técnicas de estereoscopia proporciona um melhor entendimento do espaço tridimensional, aumentando o realismo e melhorando

sensivelmente a capacidade de decisão das equipes envolvidas no projeto. Os resultados obtidos foram satisfatórios, contribuindo para o avanço das pesquisas desenvolvidas pelo Grupo de Pesquisa em Mecânica Computacional do Laboratório de Automação de Projetos e Tecnologia 3D.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a ANP – PRH 30 quanto ao apoio financeiro oferecido na forma de bolsa para alguns membros do projeto e ao Laboratório GEA – UFRN pela participação com o equipamento Laser Scan 3D.

8. REFERÊNCIAS

- M.B. Oliveira, C.M. Lima e A.R.O. Guerra, The use of Laser Scanner with others Survey tools, 2009, COBEM
M.B. Oliveira, C.M. Lima e A.R.O. Guerra, O uso do Laser na Indústria de óleo e gás, 2008, CONEM
A. Saxena and B. Sahay, Computer Aided Engineering Design, 2005, Anamaya Publishers, New Delhi, India
A. T. Sagi Katz and R. Basri. Direct visibility of point sets. In SIGGRAPH 2007, ACM Transactions on Graphics, 2007.
Jacobs, G., 2005, Professional Surveyor Magazine, Disponível em: <<http://www.profsurv.com>>
Jacobs, G., 2004, What Kinds of Projects Benefit Most?, Disponível em: <<http://www.profsurv.com>>
M. Gross and H. Pfister. Point-Based Graphics. Morgan Kaufmann, 2007.
Aukstakalnis, S. & Blatner, D.. Silicon Mirage: The Art and Science of Virtual Reality. Peatchpit Press, Berkeley, CA, 1992.
Lima, C. M. “Desenvolvimento de Conteúdo para o Ensino da Tecnologia do Plasma Utilizando Técnicas de Multimídia e Realidade Virtual” dissertação de mestrado, PPGEM – UFRN, 2001
Lima, C. M.; Guerra, A. R. O.; Alves, C. “A Abordagem de Programação Orientada a Objetos na Criação de um Mundo Virtual de Plasma”. WRV’2000 - Workshop on Virtual Reality Gramado/RS , 2000
Hearn, D.; Baker, M. P., 1986, “Computer Graphics”. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, Nova Jersey, EUA
L.F. Hodges “Basic principles of stereographic software development – Stereoscopic and Applications”, 1991
GOMES, Jonas; VELHO, Luiz. Computação Gráfica. 2a. Ed. Vol. 1. IMPA, 1998

9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

OPTIMIZATION OF DENSE CLOUDS TO VIEWER SOFTWARES IN VIRTUAL REALITY ENVIRONMENT

Felipe Figueredo Rocha, felipemech@gmail.com¹
Carlos Magno de Lima, cmagno@ufrnet.br¹
Ângelo Roncalli Oliveira Guerra, aroncalli@uol.com.br¹
Matheus Marlon Marcelino, cpmatheus@gmail.com¹

¹UFRN, Post Office Box 1524 - Campus Universitário Lagoa Nova - CEP 59072-970 Natal - RN – Brazil

Abstract: *With advances in processing power of computers there is a tendency in engineering to add to the traditional two-dimensional models the three-dimensional models. Three-dimensional geometric representations can be obtained by geometric modeling or 3D scanning of existing structures with processing in CAD environments. Within this reality is very advantageous the use of reverse engineering techniques as a way to capture point clouds through Technology Laser Scan 3D. These clouds are usually very dense which hinders the manipulation by geometric transformations, thus it is necessary to implement software with algorithms that optimize their treatment.*

Keywords: *Design Automation, Point Cloud, Virtual Reality, 3D Laser Scan, 3D CAD*