



DIEGO EDUARDO COSTA COELHO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA TÉCNICA
ÓTICA PARA DIGITALIZAÇÃO DO SOLO
APÓS O CONTATO RODADO - SOLO**

LAVRAS – MG

2013

DIEGO EDUARDO COSTA COELHO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA TÉCNICA ÓTICA PARA
DIGITALIZAÇÃO DO SOLO APÓS O CONTATO RODADO – SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas, área de concentração em Modelagem de Sistemas Biológicos, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Roberto Alves Braga Junior

Coorientadores

Dr. Nilson Salvador

Dr. Blair Malcolm Mckenzie

LAVRAS – MG

2013

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Coelho, Diego Eduardo Costa.

Desenvolvimento de uma técnica ótica para digitalização do solo após o contato rodado-solo / Diego Eduardo Costa Coelho. – Lavras: UFLA, 2013.

85 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Roberto Alves Braga Júnior.

Bibliografia.

1. Moiré. 2. Deformação. 3. Máquina-solo. 4. Distribuição da pressão. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.51

DIEGO EDUARDO COSTA COELHO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA TÉCNICA ÓTICA PARA
DIGITALIZAÇÃO DO SOLO APÓS CONTATO RODADO - SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas, área de concentração em Modelagem de Sistemas Biológicos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 17 de setembro de 2013.

Dr. Nilson Salvador	UFLA
Dr. Tomé Moreira de Souza	UFLA
Dra. Ellem Waleska Nascimento da Fonseca Contado	UFLA
Dr. Alexandre de Paula Peres	UFLA

Dr. Roberto Alves Braga Junior
Orientador

LAVRAS – MG

2013

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por me proporcionar saúde, inteligência e dedicação ao longo dessa caminhada.

Aos meus queridos pais, Nandinho e Mara, por confiarem em meu potencial e serem minha fonte incentivadora, principalmente nos momentos delicados.

Aos meus querido(a)s amigo(a)s, parentes e conhecido(a)s que torceram fortemente por minha vitória.

Ao meu querido professor orientador e, acima de tudo, meu grande amigo, Dr. Roberto Alves Braga Jr, pela sábia e dedicada orientação, pelo apoio, paciência e compreensão em todos os momentos, requisitos que contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Aos meus coorientadores, Dr. Nilson Salvador e Dr. Blair Malcolm Mckenzie, pela colaboração, amizade e dedicação.

Aos amigos do Laboratório CEDIA, Henrique, Lucas, Ellem, Murilo, Pauliane, Elisângela, João Notel, Josélia e Antônio, pela amizade e pela ajuda profissional.

Aos meus irmãos (Júnio e Kléber), pela linda amizade que construímos, profissionalmente e pessoalmente, durante toda a trajetória.

A todos do corpo docente e de servidores do Departamento de Engenharia desta universidade.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Engenharia, pela oportunidade concedida para a realização do mestrado.

À CAPES pelo financiamento e desenvolvimento de todo trabalho.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O solo é um corpo natural composto por partículas nos estados sólidos, líquidos e gasosos que contém matéria viva e ocupa a maior parte da superfície terrestre. Ele permite o desenvolvimento da agricultura, essencial e insubstituível para a vida humana, e a adoção da mecanização nessas áreas tem sido uma alternativa para obter maiores produtividades para complementar a demanda da população mundial que aumenta a cada dia. No entanto, o uso de instrumentos e equipamentos em zonas agrícolas requer o conhecimento da sua interação com o solo, para evitar possíveis danos na sua estrutura, o que traz problemas de desenvolvimento para as culturas e danos ambientais. Neste contexto, é necessário entender os efeitos que os pneus dos tratores podem causar ao transitar as áreas agrícolas, sendo que a adoção de técnicas não invasivas, de simples implementação e rápidas são potenciais alternativas de análise dos referidos impactos. Este estudo avaliou a técnica de Moiré como uma alternativa aos processos manuais tradicionais, propondo um protocolo de iluminação em campo, e analisando a viabilidade de construção de um digitalizador a laser. Os resultados demonstraram a viabilidade da técnica de moiré em laboratório e no campo, além de confirmar a viabilidade do uso de um sistema laser de digitalização.

Palavras-chave: Moiré. Deformação. Distribuição da pressão.

ABSTRACT

Soil is a natural body composed by parcels in solid, liquid and gaseous that contains living matter and occupy the greater portion of the earth surface. They soil allows the agriculture development, essential and irreplaceable for human life, and the adoption of the mechanization has been important to get higher productivities, therefore supplementing the demand of the global population which increases each day. However, the intense use of machinery and implements in agriculture requires knowledge of their interaction with the soil, in order to avoid the damages possible damage its structure, which brings problems to the-development of the cultures and brings ambient impacts. In this context, it is necessary to understand the effects of the that tires from the tractors can cause during the transit on agricultural areas, where the non-invasive techniques which can also be of-simple and fast implementations are potential tools to analyze those impacts. This study evaluated the Moiré technique as a potential alternative to the traditional manual processes presenting a protocol of digitalization of the soil in field, and presenting the viability of a construction of a laser scanner. The results showed the feasibility of the moiré technique digitizing the soil in the laboratory and in the field, in addition the work validated the use of a proposed laser scanner.

Keywords: Moiré. Deformation. Pressure distribution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Área de contato entre o pneu e a superfície do solo, para diferentes condições de umidade do solo. Pneu 9-40, 690 kg de carga e pressão de insuflagem de 83 kPa (12,0 psi). Adaptado de Inns (1978)	22
Figura 2	Área de contato para diferentes calibrações em pneus agrícolas. Adaptado de Arnal Atares e Laguna Branca (1980).....	23
Figura 3	(A) Um rastro com as garras bem definidas, indicando excesso de peso ou lastro. (B) O rastro com as garras pouco definidas, devido à patinação excessiva e à falta de lastro. (C) O rastro de um trator lastrado corretamente (DEERE, 2013). (D) Vista superior do rastro de um trator com a lastragem correta (MONTEIRO; SILVA, 2009)	24
Figura 4	Exemplificação das franjas de moiré. Adaptado de Costa (2006)...	26
Figura 5	Arranjo experimental de um scanner laser.....	32
Figura 6	Arranjo experimental do método de calibração da posição de uma calota, para a utilização da técnica de moiré de projeção. Vista superior (A) e vista lateral (B)	34
Figura 7	Imagens das grades após o pré-processamento	35
Figura 8	Arranjo experimental da digitalização da simulação das marcas das garras do pneu do trator no solo, por meio da técnica de moiré de projeção	37
Figura 9	Imagens das grades após o pré-processamento	38
Figura 10	Materiais utilizados na execução do experimento. (A) Locação da câmera digital e do projetor, (B) computador utilizado para a projeção das grades ou grids, (C) trator Agrale T-4100, (D) calibrador	40
Figura 11	(A) Planta mostrando a posição relativa entre a câmera digital e o projetor, em cm; (B) visão AA', mostrando a altura em relação ao solo da câmera digital e do projetor, em cm; (C) projeção das grades ou grids no solo	41
Figura 12	Imagens das grades antes do pré-processamento	42
Figura 13	Arranjo experimental da digitalização da simulação das marcas das garras do pneu do trator no solo através da luz laser.....	44
Figura 14	Imagens das grades após o pré-processamento, fase 0 pixels	44
Figura 15	Projeção das grades sobre a calota (A), objeto recuperado (B), gráfico em pixels da calota (C) e digitalização da calota (D)	46
Figura 16	Deformação da calota referente ao aspecto original.....	49
Figura 17	Apresenta as digitalizações do pedaço de madeira e do solo.....	50

Figura 18	Apresenta o objeto recuperado da calota (A); em (B), o objeto recuperado do solo deformado; em (C), o gráfico da calota e em (D), o gráfico do solo deformado pelo pneu do trator com calibração normal	53
Figura 19	Modelo digital de elevação de uma calota para a calibração normal do trator Agrale T-4100	54
Figura 20	Modelo digital de elevação do solo deformado pelo trator Agrale T-4100 com calibração normal	54
Figura 21	(A) Seleção da área do objeto recuperado para a análise dos dados do trator Agrale T-4100 com a calibração recomendada pelo fabricante; (B) histograma mostrando a frequência de cada tom da escala de cinza para o trator Agrale T-4100, com a calibração recomendada pelo fabricante.....	55
Figura 22	Apresenta o objeto recuperado da calota (A); em (B), o objeto recuperado do solo deformado; em (C), o gráfico da calota e em (D), o gráfico do solo deformado pelo pneu do trator com calibração excessiva	56
Figura 23	Modelo digital de elevação de uma calota para a calibração excessiva do trator Agrale T-4100	57
Figura 24	Modelo digital de elevação do trator Agrale T-4100 com calibração excessiva, mostrando o fenômeno de <i>power hop</i>	58
Figura 25	(A) Região dos dados selecionados no objeto recuperado; 25 (B) histograma mostrando a frequência dos diferentes tons de cinza para o trator Agrale com calibração excessiva.....	58
Figura 26	Apresenta o objeto recuperado da calota (A); em (B), o objeto recuperado do solo deformado; em (C), o gráfico da calota e em (D), o gráfico do solo deformado pelo pneu do trator com calibração excessiva	60
Figura 27	Modelo digital de elevação de uma calota para a calibração insuficiente do trator Agrale T-4100	61
Figura 28	Modelo digital de elevação do trator Agrale T-4100 com calibração insuficiente, destacando, na região externa do pneu, o fenômeno de <i>power hop</i> e, na região interna do pneu, uma concentração excessiva da pressão de apoio.....	62
Figura 29	(A) Região selecionada para a análise dos dados; 29 (B) histograma para o trator Agrale com pressões de 117,2 kPa (12,0 psi) e 55,2 kPa (7,0 psi) no pneus dianteiros e traseiros do lado direito do trator.....	63
Figura 30	Curva mostrando como foi a variação do desvio padrão com a pressão de inflação dos rodados traseiros	64
Figura 31	Apresenta em (A), a projeção das linhas laser sobre o pedaço de madeira; em (B), a projeção das linhas laser sobre o solo	

	deformado; em (C), o objeto recuperado de um pedaço de madeira; em (D), o gráfico do pedaço de madeira; em (E), a digitalização do pedaço de madeira e, em (F), a digitalização por um scanner laser do solo deformado	65
Figura 32	Digitalização de uma calota na posição 01, conforme o arranjo experimental.....	75
Figura 33	Digitalização de uma calota na posição 02, conforme o arranjo experimental.....	76
Figura 34	Digitalização de uma calota na posição 03, conforme o arranjo experimental.....	77
Figura 35	Digitalização de uma calota na posição 04, conforme o arranjo experimental.....	78

LISTA DE TABELA

Tabela 1	Fatores de distribuição (%) de peso do trator na condição estática recomendada, para diferentes configurações	20
----------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Geral	15
2.2	Específicos	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	Considerações gerais	16
3.2	Solos	16
3.3	Agricultura	17
3.4	Máquinas agrícolas	18
3.5	Distribuição da carga do trator no solo	19
3.6	Rodados pneumáticos e pressão de inflação	20
3.7	Efeito do lastreamento no formato do rastro deixado pelas rodas de tração	24
3.8	Power hop (“galope”)	25
3.9	Técnicas tradicionais de estudo e monitoramento da ação do contato dos pneus das máquinas agrícolas com o solo	25
3.10	A técnica de moiré	25
3.11	Scanner laser	28
3.11.1	Funcionamento e medições de um laser scanner	29
3.11.2	Características do sistema laser scanner	29
3.11.3	Posicionamento dos alvos (pontos atingidos)	30
3.11.4	Áreas de aplicações do scanner laser	30
3.11.5	Representação de um scanner laser	31
4	MATERIAL E MÉTODOS	33
4.1	Calibração em laboratório da técnica de digitalização	33
4.1.1	Pré-processamento	34
4.1.2	Processamento	35
4.2	Teste em laboratório da técnica de digitalização com simulação em caixa de solo com luz não estruturada	36
4.2.1	Pré-processamento	37
4.2.2	Processamento	38
4.3	Teste em campo, com a luz não estruturada, para avaliar a distribuição de carga no solo	39
4.3.1	Arranjo experimental	40
4.3.2	Pré-processamento	42
4.3.3	Processamento	42
4.4	Teste em laboratório com luz estruturada	43
4.4.1	Pré-processamento	44
4.4.2	Processamento	45

5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5.1	Calibração da posição de uma semiesfera para a utilização da técnica de Moiré de projeção	46
5.2	Digitalização da simulação das marcas das garras do pneu do trator no solo por meio da técnica de moiré de projeção	50
5.3	Análise qualitativa e quantitativa da distribuição da carga do trator no solo, utilizando a técnica de moiré	52
5.3.1	Calibração normal	52
5.3.2	Calibração excessiva	55
5.3.3	Calibração insuficiente	59
5.3.4	Comparação entre as diferentes calibrações	63
5.4	Digitalização da simulação das marcas das garras do pneu do trator no solo por meio da luz laser	64
6	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS	69
	ANEXOS	75

1 INTRODUÇÃO

O solo é uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, formadas por materiais minerais e orgânicos, contendo matéria viva, ocupando a maior porção do manto superficial das extensões continentais do planeta e proporcionando o desenvolvimento da agricultura, essencial e insubstituível à vida humana.

A agricultura é, historicamente, uma das principais bases da economia do Brasil, desde os primórdios da colonização até o século XXI, evoluindo das extensas monoculturas para a diversificação da produção.

Em se tratando de agricultura, deve-se destacar a utilização da mecanização agrícola, que visa aumentar a produtividade agropecuária, substituindo o trabalho árduo manual, além de garantir maior eficiência na produção, reduzindo o preço de cultivo dos produtos. A utilização de máquinas na agricultura exige o conhecimento pleno do seu funcionamento, incluindo a seleção de máquinas e equipamentos; a constituição, o uso, as regulagens e a manutenção das máquinas e equipamentos para o manejo físico dos solos, assim como a compatibilidade do trabalho máquina-solo.

A mecanização agrícola mudou a forma como o homem trabalha no campo, garantindo maior produção de alimentos. Todavia, são inevitáveis os impactos causados ao solo e, por consequência, ao meio ambiente, quando as máquinas e os implementos agrícolas são utilizados de forma inadequada ou, mesmo, de forma intensiva.

Sendo assim, vários estudos têm sido desenvolvidos para buscar novas técnicas e conhecimentos, visando entender os efeitos que os pneus dos tratores podem provocar ao solo, quando transitam nas áreas agrícolas. Este tema tem despertado grande interesse, abrindo possibilidades para técnicas ópticas na análise do perfil do solo, visto que as mesmas se apresentam como uma

alternativa aos métodos tradicionais que são, geralmente, manuais e exigem grande consumo de tempo e de mão de obra.

Com isso, este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o uso da técnica de moiré de projeção, com luz não estruturada e estruturada, para estudar as deformações causadas pelos pneus dos tratores agrícolas no solo, quando operado a diferentes pressões.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar a viabilidade da técnica de moiré, como técnica ótica para digitalização do solo após contato rodado-solo.

2.2 Específicos

- a) calibração em laboratório da técnica de digitalização;
- b) teste em laboratório da técnica de digitalização com simulação em caixa de solo com luz não estruturada;
- c) teste em campo com a luz não estruturada, para avaliar a distribuição de carga no solo;
- d) teste em laboratório com luz estruturada.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Considerações gerais

A agricultura é de grande importância para a vida humana e, com o aumento da população, surgiram pressões para os avanços na produção. Assim, para atender a essa crescente demanda, as operações que envolvem as culturas passaram a ser cada vez mais mecanizadas (NUNES, 2013).

Segundo Flores (2008), nota-se que, atualmente, são realizados estudos direcionados para um aumento constante de implantações de sistemas tecnológicos nos maquinários e gerenciamento de propriedades rurais, ofertando, dessa maneira, melhores resultados na produção, na quantidade e na qualidade.

As máquinas agrícolas estão sendo utilizadas de forma cada vez mais intensiva, otimizando as operações, aumentando a capacidade operacional, reduzindo a mão de obra e viabilizando processos (VIAN; ANDRADE JÚNIOR, 2010).

Em contrapartida, a interação solo-máquina provoca alterações na estrutura do solo, fato que influencia o desenvolvimento das culturas e interfere nas bases do desenvolvimento sustentável, abrindo possibilidades para novos estudos e técnicas, a fim de entender o fenômeno em questão (ZORATTO, 2006).

3.2 Solos

O solo constitui um sistema muito dinâmico, organizado e representa um excelente meio para a sobrevivência, crescimento e proliferação de uma variedade de organismos, representado por componentes macroscópicos e microscópicos da flora e fauna terrestres (SIQUEIRA, 1993, p. 3).

O solo é um recurso básico que suporta toda a cobertura vegetal da terra, sem a qual os seres vivos não poderiam existir. Nessa cobertura, incluem-se não só as culturas, como também todos os tipos de árvores, gramíneas, raízes e herbáceas que podem ser utilizadas pelo homem, abrangendo uma vasta área da superfície do globo e sendo uma das maiores fontes de energia para o grande drama da vida que, geração após geração de homens, plantas e animais, atua na terra (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

A redução da qualidade do solo pode ser devido a causas naturais ou induzidas pelo homem e a degradação da terra pode ser entendida como o resultado de qualquer ação que a torne menos utilizável em benefício dos seres humanos. A qualidade do solo é definida por valores relativos à sua capacidade de cumprir uma função específica e pode ser determinada para diferentes escalas, como campo, propriedade agrícola, ecossistema e região (LEPSCH et al., 1991).

3.3 Agricultura

Durante muitos séculos, o homem viveu da coleta de frutos e produtos de animais e plantas silvestres. À medida que a raça humana proliferou no planeta, tornaram-se escassos esses meios de sobrevivência, e o homem, preocupado com sua subsistência futura, procurou cultivar as plantas e domesticar os animais, aumentando seu interesse pelos recursos naturais e pela arte de cultivar. Essa arte evoluiu para a agricultura, que tem como plataforma operacional o solo, que é responsável pela produção de alimentos, madeiras, fibras, energia e outros bens, que sustentam, de maneira direta ou indireta, a vida no planeta (SIQUEIRA, 1998).

A crescente população, a demanda por alimentos e matérias-primas industriais e a aglomeração nas cidades forçaram o desenvolvimento da

agricultura que, deixando de ser uma atividade extrativista, passou a ser considerada uma indústria, operando em um ambiente ecológico criado pelos agricultores. A base e a sustentação dessa indústria é o solo, que representa, juntamente com a água, o principal recurso natural para a existência humana. Ele é de importância fundamental porque é fisicamente limitado e, por ser objeto de propriedade e de disputa, sua exploração está relacionada a vários aspectos culturais das civilizações e a problemas sócio-econômicos e ambientais vividos na atualidade (SIQUEIRA, 1998).

Devido à grande demanda por alimentos e à substituição da mão de obra, as máquinas agrícolas implementadas com novas tecnologias são solicitadas e desenvolvidas, com o passar dos anos, a fim de suprir a necessidade alimentar decorrente do crescimento populacional. Porém, se conduzidas de forma inadequada, elas podem causar sérios danos ao solo e ao meio ambiente (VIAN; ANDRADE JÚNIOR, 2010).

3.4 Máquinas agrícolas

O surgimento de máquinas e de implementos para a agricultura mudou definitivamente a trajetória das técnicas de produção e a oferta de produtos agrícolas no mundo, assim como a necessidade de envolvimento de mão de obra na atividade agrícola. Isso porque os aumentos de produtividade levaram à substituição do trabalho do homem, possibilitando o acesso a novas e melhores práticas de produção (VIAN; ANDRADE JÚNIOR, 2010).

Como principal fonte de potência na agricultura, o trator é utilizado, em conjunto com diversos equipamentos, na realização de várias tarefas, desde o preparo do solo, a semeadura e o transporte, dentre outras. Segundo Mialhe (1980), o trator agrícola é uma máquina autopropelida provida de meios que, além de lhe conferirem apoio estável sobre uma superfície horizontal e

impenetrável, capacitam-no a tracionar, transportar e fornecer potência mecânica para movimentar os órgãos ativos de máquinas e de implementos agrícolas, e equipamentos que utilizam tecnologias cada vez mais avançadas.

A aplicação de cargas dinâmicas por rodados e implementos agrícolas no solo produz tensões na interface solo/pneu e solo/implemento, em superfície e em profundidade, respectivamente. Essas tensões deformam as diferentes camadas do solo, sendo alvo de diversos estudos relacionados à perfilometria (SILVA et al., 2003).

3.5 Distribuição da carga do trator no solo

A distribuição da carga do trator é função das características do pneu, da pressão de inflação, da carga em cada roda e das condições do solo. Ao determinar a distribuição da carga, deve-se conhecer a área de contato da interface solo-rodado. Porém, a distribuição da carga não é feita de forma uniforme sobre toda a área de contato (KELLER, 2005).

A distribuição da carga no eixo dianteiro e no eixo traseiro depende da tração nos eixos, isto é, tração somente no eixo traseiro ou tração nas quatro rodas, bem como do tipo de acoplamento, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 Fatores de distribuição (%) de peso do trator na condição estática recomendada, para diferentes configurações

Configuração de tração	Distribuição de peso (%)	
	Dianteiro	Traseiro
4 X 2, com implemento de tração	25	75
4 X 2, com implemento semimontado	30	70
4 X 2, com implemento montado	35	65
4 X 2, auxiliar	40	60
4 X 4	60	40

Fonte: Corrêa (2003)

3.6 Rodados pneumáticos e pressão de inflação

Os rodados são elementos que se apoiam sobre o solo, suportam o peso do trator, permitem sua locomoção e direcionamento e têm a função de promover equilíbrio e esforço tratório (BARBOSA et al., 2005). Para um funcionamento correto e maior durabilidade dos rodados, os cuidados compreendem a calibração dos pneus, mantê-los limpos de substâncias estranhas e evitar a patinagem das rodas (ARNAL ATARES; LAGUNA BRANCA, 1980).

Os pneumáticos ficaram disponíveis comercialmente para o produtor em 1932, nos Estados Unidos, para substituir as rodas metálicas, que tinham alta capacidade de tração, inclusive em terrenos escorregadios. Porém, com a calibração correta dos pneus, de modo a se conseguir uma grande superfície de aderência, sua capacidade de tração se torna próxima da capacidade de tração das rodas metálicas com garras, com a vantagem de utilização para transporte em estradas e com a capacidade de absorção dos impactos em terrenos

irregulares, gerando maior conforto para o tratorista (ORTIZ-CANAVATE; HERNANZ, 1989).

Os pneus agrícolas são projetados para serem utilizados em superfícies relativamente suaves, o que preserva as garras do desgaste rápido e excessivo, pois, em contato com superfície suave, a banda de rodagem se amolda totalmente ao solo, impedindo que o desgaste atinja só as garras (SILVEIRA, 1988). Lopes (1996) observou desgastes da banda de rodagem de 0,0028; 0,0049 e 0,0081 mm.km⁻¹, em solos agrícolas, para os níveis de deslizamento de 15%, 30% e 45% respectivamente, enquanto, para pista pavimentada, os desgastes foram de 0,12; 0,39 e 1,37 mm.km⁻¹, o que comprova que pneus agrícolas não devem ser utilizados nestas pistas, como os fabricantes de pneus recomendam.

A pressão dos pneus determina fatores importantes, como a capacidade de carga, que é o peso que o rodado pode suportar a uma dada pressão e o limite de velocidade, fator este que depende, fundamentalmente, da resistência das lonas, do número de lonas e do volume de ar contido no pneu, e a capacidade de tração ou força tangencial que a roda transmite ao solo, que depende da carga exercida, das dimensões e da pressão dos pneus e do desenho da banda de rodagem. Em geral, em solos agrícolas, quanto menor a pressão, maior a capacidade de tração, porém, este valor não deve ficar abaixo de 80 kPa (11,6 psi) para pneus diagonais (ORTIZ-CANAVATE; HERNANZ, 1989).

Com isso, conclui-se que tanto a calibração de pneus como a lastragem do trator influenciam diretamente e de forma significativa o desempenho e o consumo de combustível do trator (CERAGIOLI et al., 2010). Serrano (2008) verificou redução de 3% a 5% na capacidade de trabalho e aumento de 10% a 25% no consumo de combustível por hectare, mesmo em condições aceitáveis de patinagem, quando se utiliza pressão de insuflagem excessiva em um conjunto trator-grade de discos.

Um dos efeitos danosos da mecanização agrícola é a compactação do solo. Soane et al. (1981) citam que a pressão de inflação, o tamanho do pneu e a resistência da carcaça determinam a distribuição da força sobre a área de contato com o solo. Nesta interface, a resistência inicial do solo controla a magnitude e a distribuição das tensões do solo abaixo do pneu, como mostrado na Figura 1.

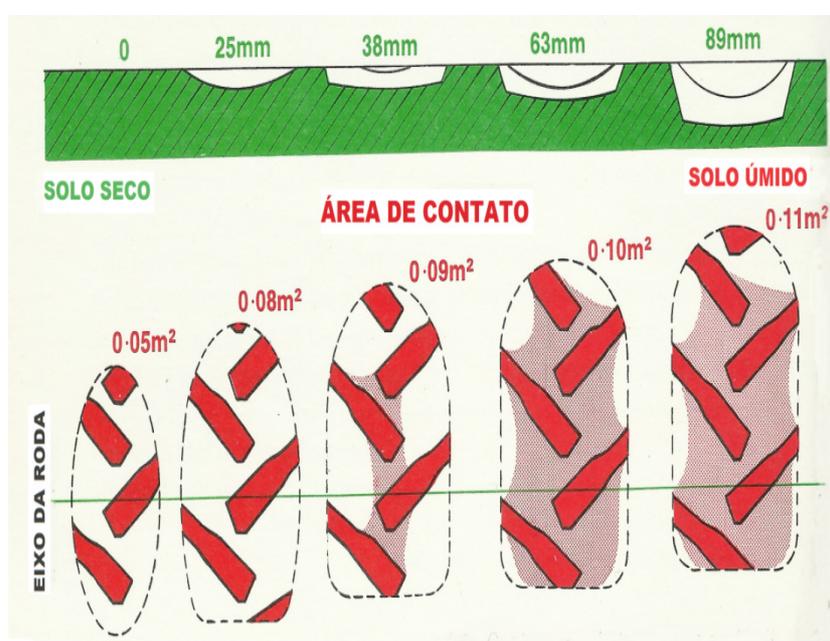


Figura 1 Área de contato entre o pneu e a superfície do solo, para diferentes condições de umidade do solo. Pneu 9-40, 690 kg de carga e pressão de insulflagem de 83 kPa (12,0 psi). Adaptado de Inns (1978)

Arnal Atares e Laguna Branca (1980, p. 321-322) explicam os efeitos de uma má calibração da seguinte forma:

Quando a calibração dos pneus for excessiva acontece perda de tração, aumento na patinação, aumento do consumo de combustível. As pressões de apoio concentram-se na linha média da banda de rodagem, desgastando rapidamente esta

região de pneu. O pneu do trator afunda-se mais no terreno dificultando a locomoção do trator e aumentando a compactação sob a região de interface solo-pneu.

Se a calibração dos pneus for insuficiente, a roda e o pneu não ficam solidários entre si e ao deslizar-se um sobre o outro pode danificar ou até mesmo arrancar a válvula do pneu, as lonas de corpo podem romper por flexão excessiva, o raio do rodado diminui e conseqüentemente diminui a velocidade de avanço, aumentando a possibilidade de pedras cortarem os pneus, promovendo o desgaste rápido na lateral da banda de rodagem devido as pressões de apoio se concentrarem nesta região (ARNAL ATARES; LAGUNA BRANCA, 1980, p. 323).

O comportamento do rodado e a área de contato para diferentes calibrações estão ilustrados na Figura 2.

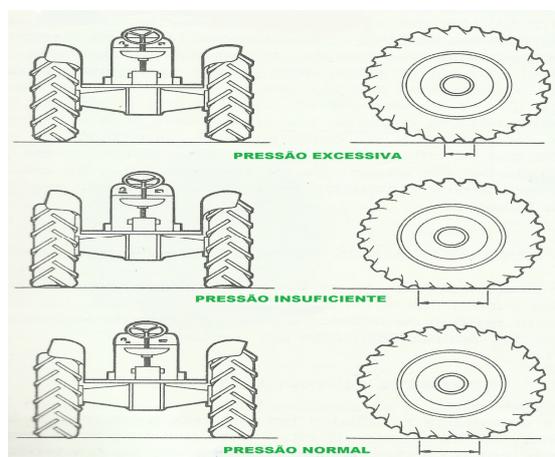


Figura 2 Área de contato para diferentes calibrações em pneus agrícolas. Adaptado de Arnal Atares e Laguna Branca (1980)

3.7 Efeito do lastreamento no formato do rastro deixado pelas rodas de tração

O lastreamento é a adição de peso no trator, com o objetivo de reduzir a perda de tração, aumentar o rendimento operacional e diminuir o desgaste dos pneus e a patinagem. Uma maneira de identificar o índice de deslizamento é observando-se o sulco deixado pela roda tratora no solo. Na Figura 3(A) observam-se as garras do pneu bem definidas no solo, indicando excesso de lastragem e um baixo índice de deslizamento. Na Figura 3(B), notam-se as marcas no solo pouco definidas, indicando lastro insuficiente e alto índice de deslizamento. No rastro mostrado nas Figuras 3(C) e 3(D) percebe-se que existem sinais de deslizamento no centro do sulco e marcas bem definidas nas extremidades laterais, indicando a lastragem correta (MONTEIRO; SILVA, 2009).

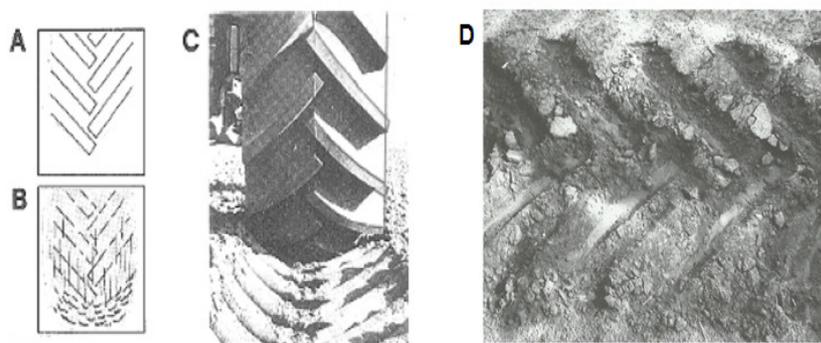


Figura 3 (A) Um rastro com as garras bem definidas, indicando excesso de peso ou lastro. (B) O rastro com as garras pouco definidas, devido à patinagem excessiva e à falta de lastro. (C) O rastro de um trator lastrado corretamente (DEERE, 2013). (D) Vista superior do rastro de um trator com a lastragem correta (MONTEIRO; SILVA, 2009)

3.8 *Power hop* (“galope”)

Este fenômeno acontece quando rodas de diâmetros diferentes são colocadas no mesmo eixo, forçando-as a rodar na mesma velocidade angular. O “galope” gera efeitos de torção no eixo, afeta o sistema de transmissão e desgasta os pneus (FERREIRA, 1999).

O “galope” ocorre, geralmente, quando os valores de patinação são maiores que 12% ou em índices baixos de patinação, menores que 4%. A probabilidade de ocorrer “galope” aumenta com o aumento da velocidade de avanço (DEERE, 2013).

3.9 Técnicas tradicionais de estudo e monitoramento da ação do contato dos pneus das máquinas agrícolas com o solo

As técnicas tradicionais, como a do rugosímetro de varetas e a de utilização da gessagem (cal), visam avaliar o perfil do solo, de forma a estudar o comportamento do mesmo ao ser submetido a algum esforço, como, por exemplo, o tráfego de uma máquina agrícola. Essas técnicas necessitam do contato com o material para melhores análises e, nesse contexto, uma técnica óptica, não invasiva e promissora, ganha espaço na análise da superfície do solo (CORREA et al., 2012).

3.10 A técnica de moiré

Ao sobrepor dois conjuntos de linhas, é possível perceber algumas regularidades que formarão um padrão conhecido como franjas de moiré (FM), nome este que, em francês, designa um tecido de seda importado da antiga China (SCIAMMARELLA, 1982). Utiliza-se a interação de dois conjuntos de

linhas, tecnicamente conhecidos como retículo modelo e retículo de referência, na obtenção das FM, como mostrado na Figura 4 (ASSUNDI; YUNG, 1991; COSTA, 2006).

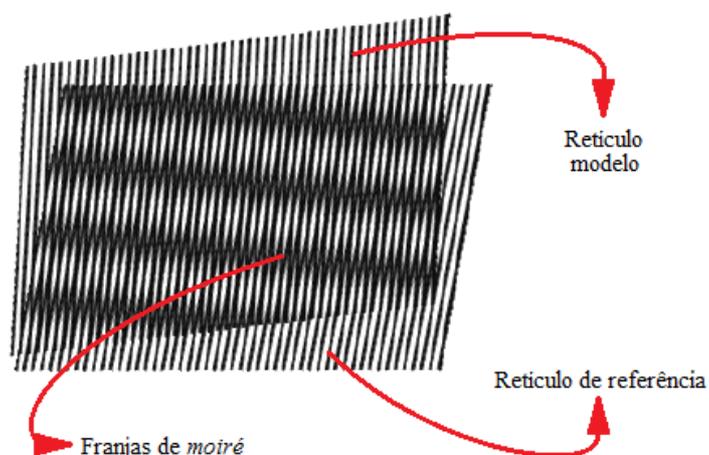


Figura 4 Exemplificação das franjas de moiré. Adaptado de Costa (2006)

Estas propriedades fazem da técnica de moiré (TM) uma alternativa para se definir perfis, contornos topográficos, formas, relevos e deformações (COSTA et al., 2008), sem a necessidade de contato com o objeto (GOMES et al., 2009). A técnica perfilométrica é a mais comumente utilizada, devido à simplicidade, à rapidez (LINO et al., 2011), aos baixos custos e à relativa confiabilidade (GOMES et al., 2009).

Moiré é uma técnica óptica que pode determinar a perfilometria dos objetos (HERTZ et al., 2005) e mostra-se versátil, ágil e de fácil coleta e manipulação de dados. Destaca-se por ser um método não invasivo, cuja medição é simples e rápida, sendo uma alternativa para estudos perfilométricos do solo, como o tráfego de máquinas agrícolas, que pode provocar excesso de

carga no solo e possíveis danos ao desenvolvimento de culturas (LINO; DAL FABRO, 2004).

No contexto das ciências agrárias, há trabalhos nos quais se estimam a área superficial de frangos de corte (SILVA, 2007); a topografia de ovos, estimando a massa da gema, da clara, da casca e de todo o ovo (SILVA et al., 2011) e também podem ser observadas investigações perfilométricas em protótipos mecânicos, buscando baixos custos e flexibilidade (GOMES et al., 2009), além da análise postural de seres humanos (HERTZ et al., 2005) e de deformações em madeiras (COSTA, 2006), dentre outros.

Dentre outras técnicas consideradas relevantes para a construção da perfilometria, além da TM, existem a holografia, a interferometria *speckle* e a fotoelasticidade clássica (GOMES, 2005).

A TM é de uso simples, quando apresenta boa relação com o material, e não está sujeita a fatores externos, como pressão e temperatura (GOMES, 2005), porém, a angulação, o tipo e a quantidade de fontes luminosas influenciam a qualidade do resultado (HERTZ et al., 2005).

Costa (2006) explica que o efeito de moiré pode ser conseguido de várias maneiras, como a TM de sombra, que consiste em iluminar uma grade que interage com a própria sombra projetada no objeto. Já na TM de projeção, o efeito de moiré é conseguido por meio da projeção de grades periódicas (MAZZETI FILHO, 2004), subtraindo-se as imagens para a obtenção das franjas de moiré (LINO, 2002).

A técnica de moiré de projeção permite a construção de modelos digitais de elevação (MDE) comparando os mesmos retículos, de referência e modelo, sendo o primeiro sem deformação e o segundo a superfície que se deseja mapear, projetando grades sobre estas superfícies e sobrepondo-as. Obtêm-se, como resultado, novamente, as franjas de moiré, que revelam o comportamento

da superfície do objeto utilizado na criação de mapas tridimensionais, como o esforço provocado pelo pneu do trator no solo (MCKENZIE et al., 2012).

Como forma de implementação da técnica, o scanner laser surge para realizar a varredura da superfície do solo, para possíveis análises e inferências.

3.11 Scanner laser

O sistema de varredura a laser é utilizado de várias maneiras diferentes, podendo ser em plataformas terrestres (scanner laser terrestre) ou aéreas (scanner laser aerotransportado), cujo objetivo é obter coordenadas tridimensionais de pontos em uma superfície (RIBEIRO JÚNIOR, 2011).

O scanner laser é uma ferramenta para o mapeamento de áreas com geometria complexa, congestionadas ou de difícil acesso e, associada às outras técnicas convencionais, garante a execução de trabalhos com alta qualidade, rapidez e precisão. Todos os pontos adquiridos em campo têm coordenadas X, Y e Z, e podem estar georreferenciados a um sistema de coordenadas. Com essa nuvem de pontos é possível extrair as informações planimétricas e altimétricas, gerar superfícies tridimensionais, plantas cadastrais, curvas de nível, perfis longitudinais, seções transversais e modelar estruturas (GORDON; LICHTI; STEWART, 2001).

O equipamento destaca-se devido à rapidez da coleta dos pontos, pouca interferência no local de execução dos serviços, fácil transporte e manuseio, e qualidade na projeção de linhas percorrendo a área analisada. O scanner laser tem como desvantagem o alto valor de aquisição, tendo, às vezes, seu uso limitado a diversos trabalhos. É importante que se desenvolva um equipamento direcionado ao trabalho em questão, em face da economia, da qualidade e da praticidade (GORDON; LICHTI; STEWART, 2001).

3.11.1 Funcionamento e medições de um laser scanner

As operações de um sistema laser scanner são baseadas na geração e na emissão de pulsos de laser que são direcionados às superfícies dos objetos, atingindo-as em vários pontos. Estes objetos refletem os pulsos incidentes e parte deles volta para o sistema, sem a necessidade do uso de refletores. Com isso, a distância entre o sensor e o objeto é determinada por meio do intervalo de tempo entre a emissão e o retorno do pulso (DALMOLIN; SANTOS, 2004).

Dessa forma, é possível registrar vários dados, como intensidade dos pulsos e intervalo de tempo entre a emissão e a recepção dos mesmos. O conjunto desses dados tridimensionais é, geralmente, denominado nuvem de pontos, pois pode ser representado por uma densa concentração de observações no espaço tridimensional (RIBEIRO JÚNIOR, 2011).

O equipamento trabalha pelo princípio da triangulação de linhas de laser projetadas na superfície do objeto, no caso deste projeto, o solo compactado pelas garras dos pneu do trator. Estas linhas são vistas por uma câmera colocada em um determinado ângulo, de forma que as variações da topografia do solo podem ser vistas como mudanças de forma da linha de laser. A imagem capturada contém informações sobre a topografia dos objetos e é processada, gerando uma nuvem de pontos com as coordenadas X, Y, Z (GORDON; LICHTI; STEWART, 2001).

3.11.2 Características do sistema laser scanner

Segundo Wutke (2006), a varredura laser apresenta diversas características importantes, como operação remota; resposta em tempo real; após o término da varredura do scanner laser já estão à disposição do operador milhões de pontos com coordenadas conhecidas; fornecimento de informações

sobre os objetos, como distância entre peças, dimensões, volumes, verticalidade de superfícies, e outros. Destacam-se a alta densidade de pontos coletados, a simplicidade da operação e a flexibilidade. É possível combinar vários modelos numéricos gerados de diferentes posições, o que permite cobrir quase toda a superfície visível dos objetos.

3.11.3 Posicionamento dos alvos (pontos atingidos)

De acordo com as coordenadas dos pontos atingidos pelos pulsos laser se obtém o posicionamento dos mesmos. É possível obter as coordenadas do objeto, conhecendo-se a distância entre o sensor e ele, e o posicionamento do sensor por suas coordenadas. Para tal, existem três modos diferentes de determinar as coordenadas de um objeto, que são o modo de coordenadas bidimensionais, que é quando o pulso laser percorre uma trajetória horizontal; o modo de coordenadas bidimensionais, no qual o pulso laser percorre uma trajetória inclinada em relação à horizontal (ângulo de inclinação conhecido) e o modo de coordenadas tridimensionais, em que o pulso laser percorre uma trajetória inclinada em relação aos três eixos do sensor (ângulos de inclinação do sensor conhecidos) (CENTENO; MITISHITA, 2007).

No presente caso, é utilizado o modo de coordenadas bidimensionais, dado que o scanner laser empregado utiliza um laser retilíneo que é deslocado verticalmente sobre o solo, realizando a varredura da superfície em questão.

3.11.4 Áreas de aplicações do scanner laser

Os dados coletados no processo são ideais para serem aplicados em mapeamentos topográficos, uma vez que apresentam um conjunto de pontos com suas respectivas coordenadas tridimensionais. Outras finalidades para este

sistema, por exemplo, são o planejamento e o desenvolvimento urbano, processos ecológicos, gerenciamento e manutenção de infraestruturas, e mapeamento de superfícies (LIMA, 2009), podendo também ser aplicado em florestas, mineração, transportes, planejamento urbano, entre inúmeras outras aplicações (LICHTI; PFEIFER; MAAS, 2008).

Associado a diversas técnicas, como por exemplo a técnica de moiré, o sistema laser aplica-se a vários trabalhos de engenharia agrícola e, nesse contexto, insere-se a varredura de um solo deformado ao ser trafegado por um trator agrícola.

3.11.5 Representação de um scanner laser

A estrutura física e computacional do scanner laser é composto por baterias, câmara digital integrada, coletor, armazenador de dados (notebook ou tablet), cabos de conexão e os softwares específicos, de acordo com os fabricantes dos sistemas. A estrutura é complementada por um tripé responsável pela sustentação física do scanner (RIBEIRO JÚNIOR, 2011), como representado na Figura 5.



Figura 5 Arranjo experimental de um scanner laser
Fonte: Gordon, Lichti e Stewart (2001)

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Centro de Desenvolvimento de Instrumentação Aplicada à Agropecuária (CEDIA), no Laboratório de Automação e Robótica, e na área experimental de campo do Departamento de Engenharia, ambos localizados na Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras, MG, localizada na latitude 21^o 14' 43" Sul, na longitude 44^o 59' 59" Oeste, a 919 m de altitude.

O presente trabalho foi dividido em quatro etapas, para o atendimento dos objetivos propostos.

4.1 Calibração em laboratório da técnica de digitalização

A primeira etapa do experimento foi conduzida no Laboratório de Óptica n° 4 do Centro de Desenvolvimento de Instrumentação Aplicada à Agropecuária (CEDIA-UFLA).

Os materiais utilizados foram os seguintes:

- a) câmera digital fotográfica Canon EOS 400D;
- b) projetor Epson PowerLite S8+/W8+;
- c) computador ACER (ASPIRE 5536), com os softwares Gerador de Grades, Scilab, ImageJ;
- d) mesa de madeira para a alocação do computador;
- e) semiesfera com 12,5 cm de diâmetro e 3,9 cm de espessura;
- f) tripé para os equipamentos;
- g) cabos de alimentação e conectores.

Foi realizado um método de calibração para avaliar a melhor posição e a visualização de uma calota pela técnica de moiré, buscando, por meio de vinte posições deslocadas pela câmera, o melhor detalhamento do objeto em questão. As posições foram espaçadas de 5 em 5 cm, a fim de descobrir o ângulo ideal, de forma que a câmera captasse o objeto com a melhor uniformidade, visto que o anteparo é fixo e a câmera é móvel, conforme mostrado na Figura 6.

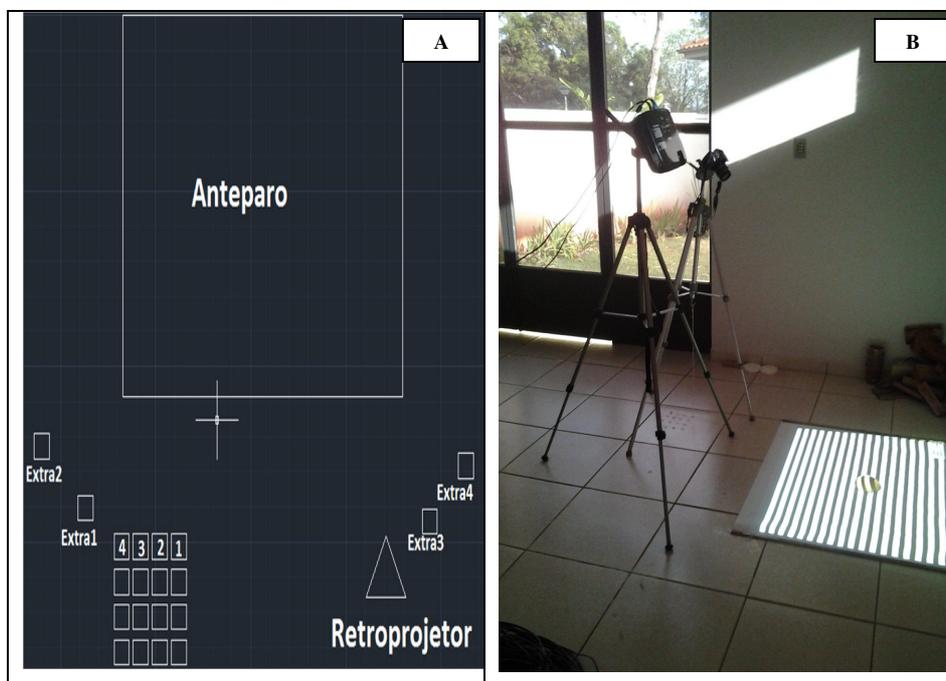


Figura 6 Arranjo experimental do método de calibração da posição de uma calota, para a utilização da técnica de moiré de projeção. Vista superior (A) e vista lateral (B)

4.1.1 Pré-processamento

Coletadas as fotos, ocorreu o pré-processamento das imagens, transformando a imagem em 8-bits (256 diferentes graduações de cinza) e

diminuindo o tamanho das imagens de 1.936 x 1.288 pixels para 800 x 532 pixels, para salvá-las em formato TIFF.

A imagem de referência sofreu defasamento de 90°, 180° e 270°, para permitir a utilização do processamento de “Phase Shift”, resultando, assim, em quatro imagens das grades de referência e uma grade sobre o objeto, atendendo à necessidade do algoritmo que se encontra no anexo e como se pode observar na Figura 7.

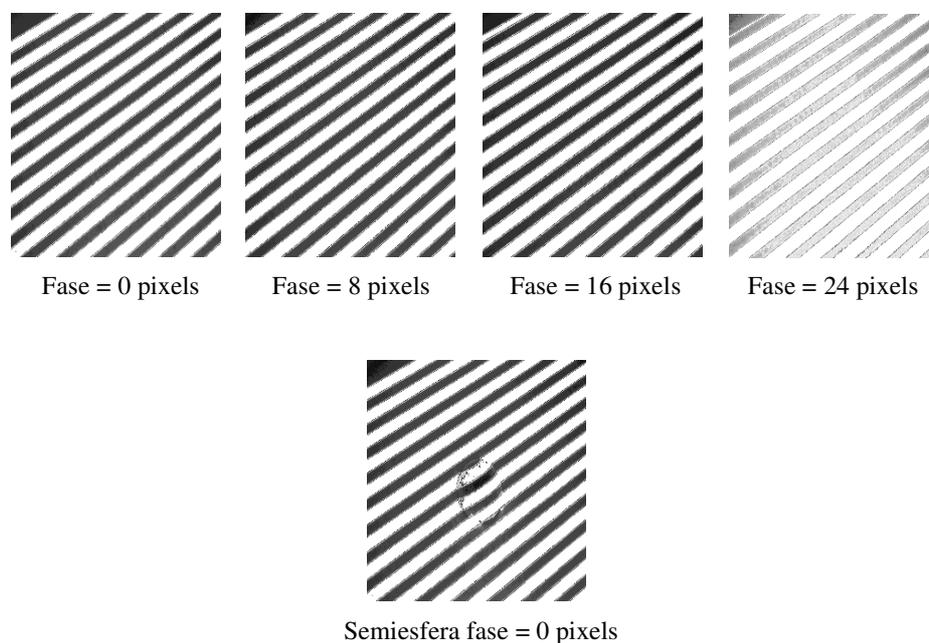


Figura 7 Imagens das grades após o pré-processamento

4.1.2 Processamento

Esta etapa foi desenvolvida por meio do *software* gratuito Scilab 4.0, com os programas que complementam sua interface gráfica, Image Magic e Siptoolbox Versão 4.0 como biblioteca, também gratuitos, com o objetivo de

gerar o objeto recuperado, imagem que possibilita a visualização do modelo digital de elevação.

O script utilizado no processamento se encontra no Anexo.

4.2 Teste em laboratório da técnica de digitalização com simulação em caixa de solo com luz não estruturada

A segunda etapa do experimento foi conduzida no Laboratório de Automação e Robótica da UFLA.

Os materiais utilizados para o trabalho foram:

- a) câmera digital fotográfica Canon EOS 400D;
- b) projetor Epson PowerLite S8+/W8+;
- c) computador ACER (ASPIRE 5536), com os softwares Gerador de Grades, Scilab, ImageJ;
- d) mesa de madeira para a colocação do computador;
- e) semiesfera com 12,5 cm de diâmetro e 3,9 cm de espessura;
- f) pedaço de madeira em forma de paralelepípedo, com 19 cm de comprimento, 9,6 cm de largura e 4,6 cm de altura;
- g) caixa metálica com 51 cm de comprimento, 30,5 cm de largura e 6 cm de altura, contendo Latossolo Vermelho solto, com umidade de 28,8%, estrutura granular e textura argilosa;
- h) tripé para os equipamentos;
- i) cabos de alimentação e conectores.

Por meio de uma caixa de metal contendo solo (Latosolo), simulou-se, com um pedaço de madeira em forma de paralelepípedo, a marca das garras de

um pneu do trator. A superfície do solo foi digitalizada conforme a Figura 8, sob luz não estruturada (projektor).

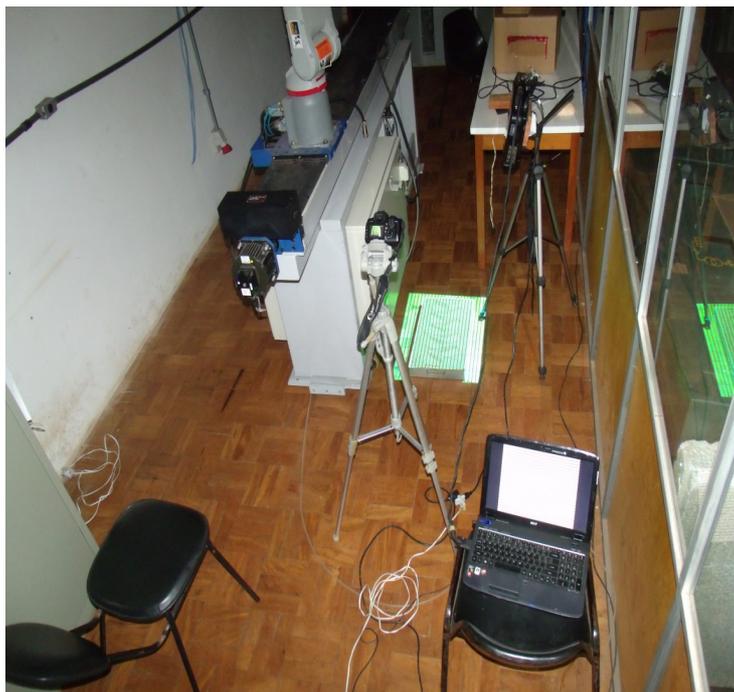


Figura 8 Arranjo experimental da digitalização da simulação das marcas das garras do pneu do trator no solo, por meio da técnica de moiré de projeção

4.2.1 Pré-processamento

Coletadas as fotos, ocorreu o pré-processamento das imagens, transformando a imagem em 8-bits (256 diferentes graduações de cinza) e diminuindo o tamanho das imagens de 1.936 x 1.288 pixels, para 800 x 532 pixels, para salvá-las em formato TIFF.

A imagem de referência sofreu defasamento de 90°, 180° e 270°, para permitir a utilização do processamento de “phase shift”, resultando, assim, em

quatro imagens das grades de referência e uma grade sobre o objeto, conforme a Figura 9.

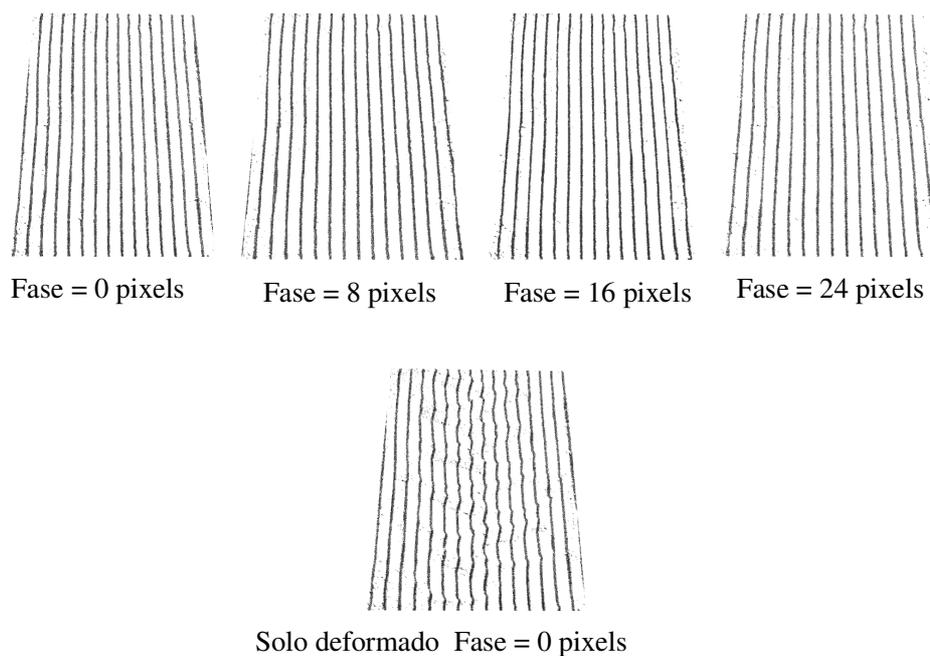


Figura 9 Imagens das grades após o pré-processamento

4.2.2 Processamento

Esta etapa foi desenvolvida por meio do software gratuito Scilab 4.0, com os programas que complementam sua interface gráfica, Image Magic e Siptoolbox Versão 4.0 como biblioteca, também gratuitos, com o objetivo de gerar o objeto recuperado, imagem que possibilita a visualização do modelo digital de elevação.

O script utilizado no processamento se encontra nos Anexos.

4.3 Teste em campo, com a luz não estruturada, para avaliar a distribuição de carga no solo

A terceira etapa aconteceu na área de campo experimental do Departamento de Engenharia da UFLA, em um Latossolo Vermelho, recém-arado, com umidade de 28,8%, estrutura granular e textura argilosa.

Os materiais utilizados no trabalho foram:

- a) câmera digital fotográfica Canon EOS 400D;
- b) projetor Epson PowerLite S8+/W8+;
- c) computador com os softwares Gerador de Grades, Scilab, Image J, Image Magic, Microsoft Excel e Matlab;
- d) calibrador de pneus Dresser Wayne Classe 0,6;
- e) um trator Agrale, modelo T-4100, utilizando pneus Pirelli Chrono 185 R 15 C, na dianteira e Firestone Nylon 8.3/8-24, na traseira. As três calibrações nos pneus dianteiro e traseiro foram de 110 (16,0) e 90 (13,0); 138 (20,0) e 124 (18,0); 83 (12,0) e 48 (7,0) kpa/(psi), nos pneus do lado direito do trator. No lado esquerdo do trator, foram sempre mantidas as pressões de 110 kPa (16,0 psi), no pneu dianteiro e de 90 kPa (13,0 psi), no pneu traseiro. As pressões de inflação indicadas pelo fabricante são de 110 kPa (16,0 psi), para o pneu dianteiro e 90 kPa (13,0 psi), para o pneu traseiro, conforme a representação esquemática da Figura 10.

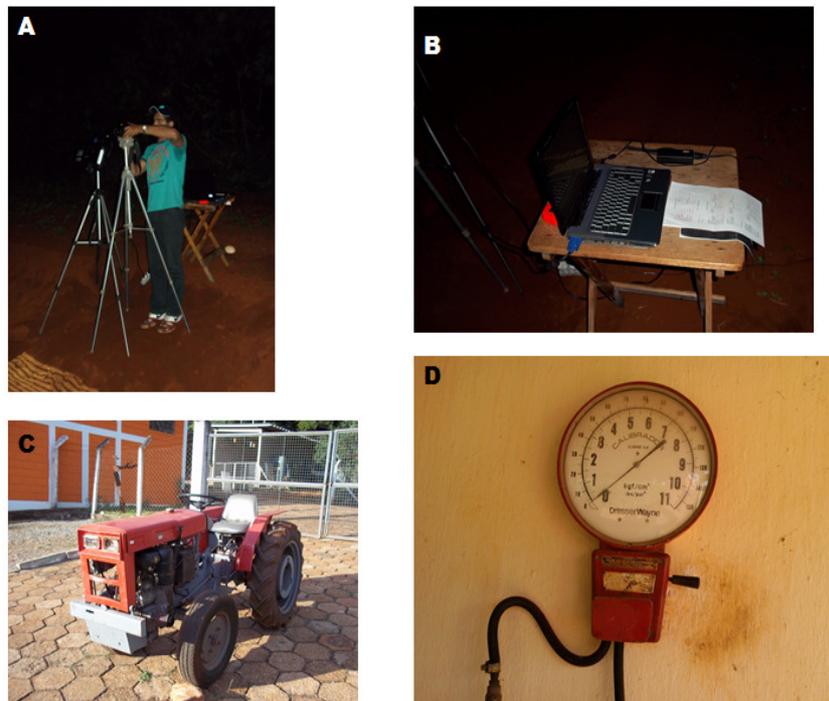


Figura 10 Materiais utilizados na execução do experimento. (A) Localização da câmera digital e do projetor, (B) computador utilizado para a projeção das grades ou grids, (C) trator Agrale T-4100, (D) calibrador

4.3.1 Arranjo experimental

A câmera foi posicionada a 1,40 m do solo e o projetor, a 1,30 m do solo, com distância relativa entre eles de 40 cm e 35 cm, como se observa no esquema da Figura 11 (A) e (B). Projetaram-se as grades no solo com o auxílio do software Gerador de Grids, como observado na Figura 11 (C).

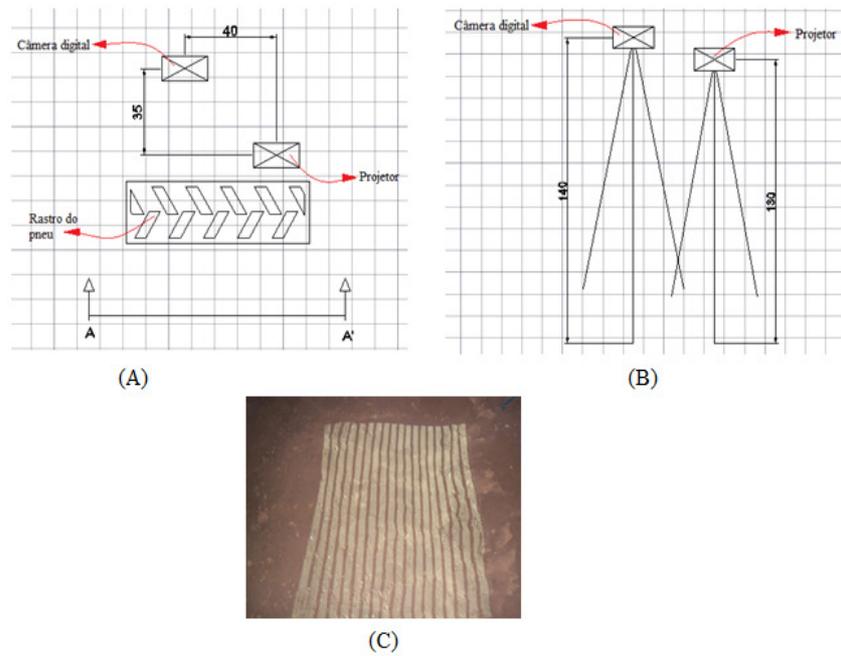


Figura 11 (A) Planta mostrando a posição relativa entre a câmera digital e o projetor, em cm; (B) visão AA', mostrando a altura em relação ao solo da câmera digital e do projetor, em cm; (C) projeção das grades ou grids no solo

O software Gerador de *Grids* foi calibrado da seguinte maneira: Passo = 32 pixels e espessura = 10 pixels e as 4 fases de acordo com a Figura 12, conforme será visto a seguir.

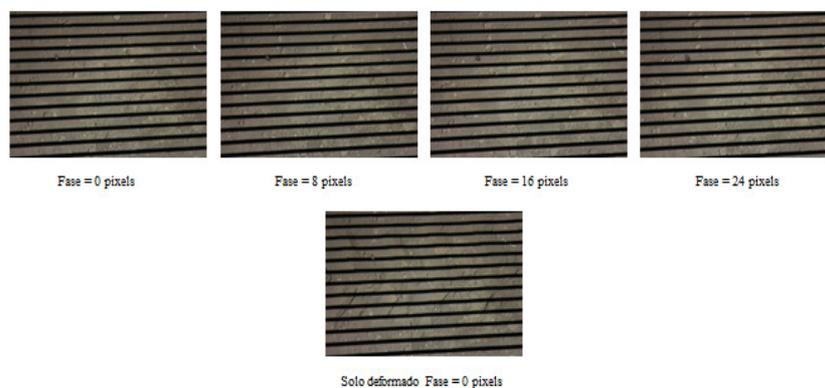


Figura 12 Imagens das grades antes do pré-processamento

4.3.2 Pré-processamento

Coletadas as fotos, ocorre o pré-processamento das imagens no programa Image J, da seguinte forma: transforma-se a imagem em 8-bits; logo, a imagem é composta de 256 diferentes graduações de cinza. Diminui-se o tamanho da imagem de 1.936 x 1.288 pixels para 800 x 532 pixels, para salvá-la em formato TIFF.

4.3.3 Processamento

Esta etapa foi desenvolvida por meio do *software* gratuito Scilab 4.0, com os programas que complementam sua interface gráfica, Image Magic e Siptoolbox Versão 4.0 como biblioteca, também gratuitos.

O script utilizado no processamento se encontra nos Anexos.

4.4 Teste em laboratório com luz estruturada

A quarta etapa foi conduzida no laboratório de Automação e Robótica da UFLA.

Os materiais utilizados nesta etapa foram os seguintes:

- a) robô mecânico;
- b) câmera digital fotográfica Canon EOS 400D;
- c) projetor Epson PowerLite S8+/W8+;
- d) computador ACER (ASPIRE 5536), com os softwares Gerador de Grades, Scilab, ImageJ;
- e) laser de He-Ne (632 nm e de 5 a 17 mW);
- f) mesa de madeira para alocação do computador;
- g) semiesfera com 12,5 cm de diâmetro e 3,9 cm de espessura;
- h) toco de madeira com 19 x 9,6 x 1,4 (cm) de dimensões;
- i) caixa metálica com 51 x 30,5 x 6 (cm) de dimensões, contendo Latossolo Vermelho solto, com umidade de 28,8%, estrutura granular e textura argilosa;
- j) tripé para os equipamentos;
- k) cabos de alimentação e conectores.

Usando uma célula robótica, fixou-se um laser emissor de linha em suas garras. O braço do robô realizou deslocamentos controlados, de forma que a linha percorresse uma caixa metálica contendo o solo, com marcas simuladas de um pneu de trator através de um toco de madeira.

A representação esquemática da digitalização da simulação das marcas das garras do pneu do trator no solo através da luz laser pode ser observada na Figura 13.



Figura 13 Arranjo experimental da digitalização da simulação das marcas das garras do pneu do trator no solo através da luz laser

4.4.1 Pré-processamento

Coletadas as fotos, ocorreu o pré-processamento das imagens, transformando a imagem em 8-bits (256 diferentes graduações de cinza) e diminuindo o tamanho das imagens de 1.936 x 1.288 pixels para 800 x 532 pixels, para salvá-la em formato TIFF, como se observa na Figura 14.



Figura 14 Imagens das grades após o pré-processamento, fase 0 pixels

4.4.2 Processamento

Esta etapa foi desenvolvida por meio do *software* gratuito Scilab 4.0, com os programas que complementam sua interface gráfica, Image Magic e Siptoolbox Versão 4.0 como biblioteca, também gratuitos, com o objetivo de gerar o objeto recuperado, imagem que possibilita a visualização do modelo digital de elevação.

O script utilizado no processamento se encontra nos Anexos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Calibração da posição de uma semiesfera para a utilização da técnica de Moiré de projeção

Na Figura 15, é possível observar a iluminação de uma calota com as grades de moiré, bem como os resultados de sua digitalização com vistas de topo, de perfil e em três dimensões.

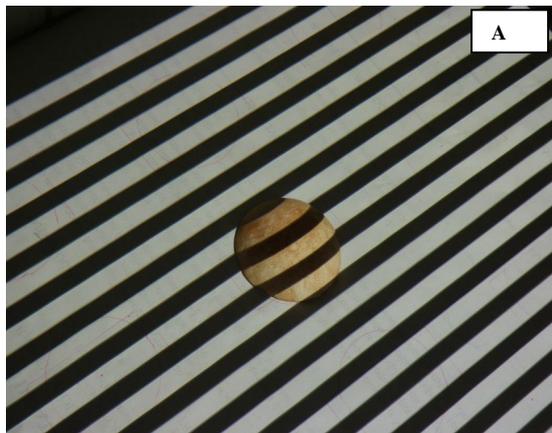
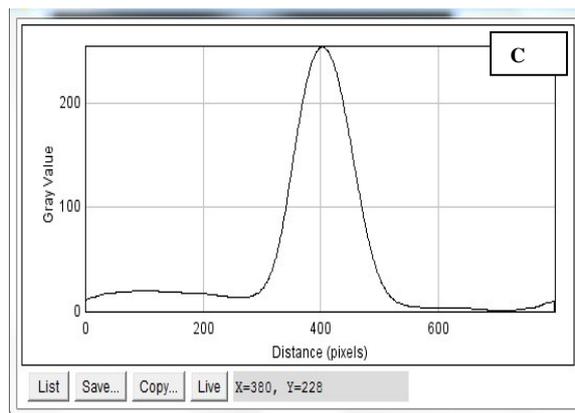
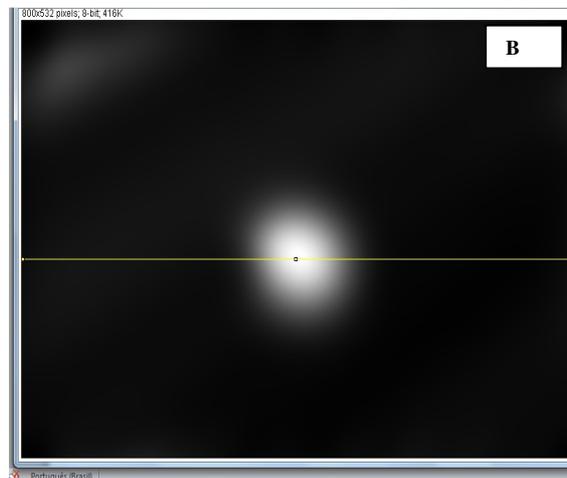
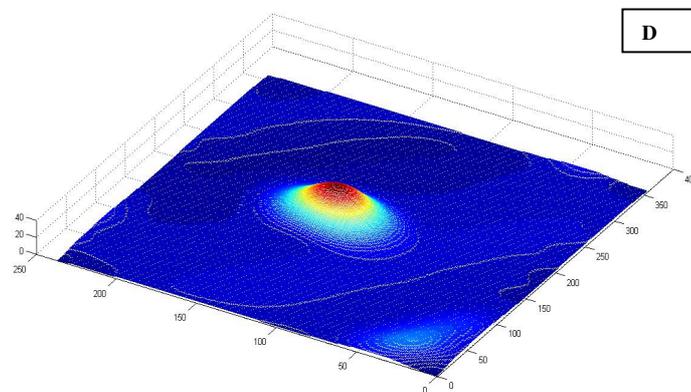


Figura 15 Projeção das grades sobre a calota (A), objeto recuperado (B), gráfico em pixels da calota (C) e digitalização da calota (D)
(...continua...)





Através dos valores reais das medidas da calota, foram realizadas correções do objeto digitalizado, transformando suas dimensões em milímetros, como se pode verificar na Figura 15 (D).

Esta técnica de correção das imagens utilizando um objeto conhecido foi apresentada por Gomes (2005) e passou a ser utilizada para a correção das imagens de objetos, neste caso da superfície do solo, e assim calibrá-las e transformá-las em milímetros.

Uma limitação da técnica pode ser observada na Figura 15(C), em que o perfil da calota apresenta uma deformação em relação ao seu aspecto original (Figura 16).

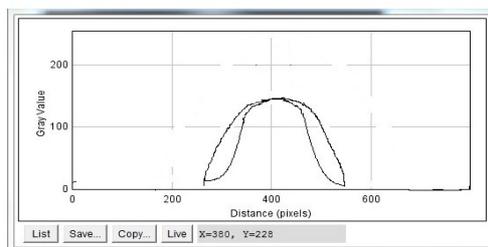


Figura 16 Deformação da calota referente ao aspecto original

Esta deformação deve-se à perspectiva necessária para a digitalização, com a câmera sendo posicionada com um ângulo de $49,76^\circ$, saindo da linha perpendicular ao objeto, bem como é devido às bordas da calota, que fazem um ângulo muito grande em relação ao solo em que foram posicionadas. Isto seria um obstáculo se o objeto a ser estudado precisasse ser reproduzido com fidelidade geométrica, contudo, no solo, a suavidade das deformações evita transições bruscas como na calota, bem como o mais relevante é observar a integridade da deformação e não seu formato exato.

Por meio de vinte deslocamentos realizados pela câmera, conforme a Figura 6(A), verifica-se que a calota colocada na posição extra 2 foi mais bem reproduzida digitalmente ao se utilizar a técnica de moiré, encontrando um ângulo de $49,76^\circ$ e um ajuste de altura para a câmera e o projetor, detalhando a superfície em questão. Esta configuração foi utilizada nos experimentos com o solo.

5.2 Digitalização da simulação das marcas das garras do pneu do trator no solo por meio da técnica de moiré de projeção

Na Figura 17 é possível observar a iluminação de um pedaço de madeira (A) e do solo deformado (B), ambos com as grades de moiré projetadas sobre os mesmos, bem como os gráficos e as digitalizações do objeto e do solo em três dimensões, sendo em (A), a projeção das grades sobre um pedaço de madeira; em (B), a projeção das grades sobre o solo deformado; em (C), o objeto recuperado referente ao pedaço de madeira; em (D), o objeto recuperado do solo deformado; em (E), o gráfico do pedaço de madeira; em (F), o gráfico do solo deformado; em (G), a digitalização do pedaço de madeira e em (H), a digitalização do solo deformado.

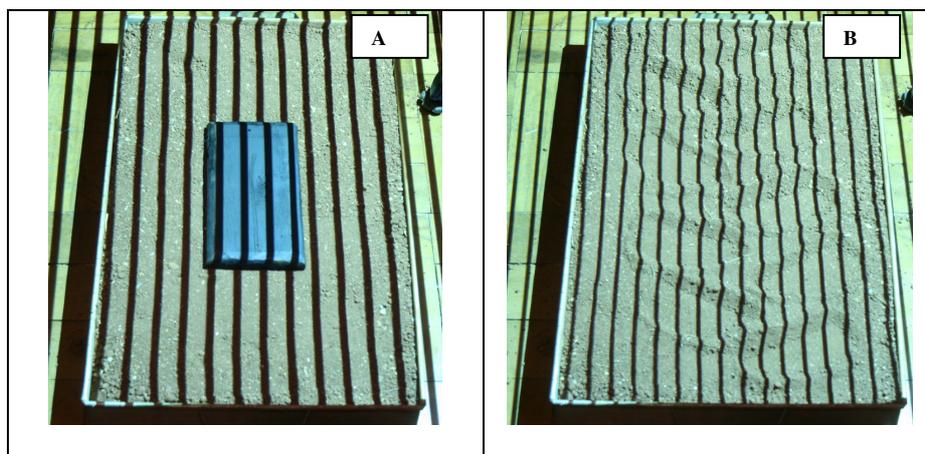
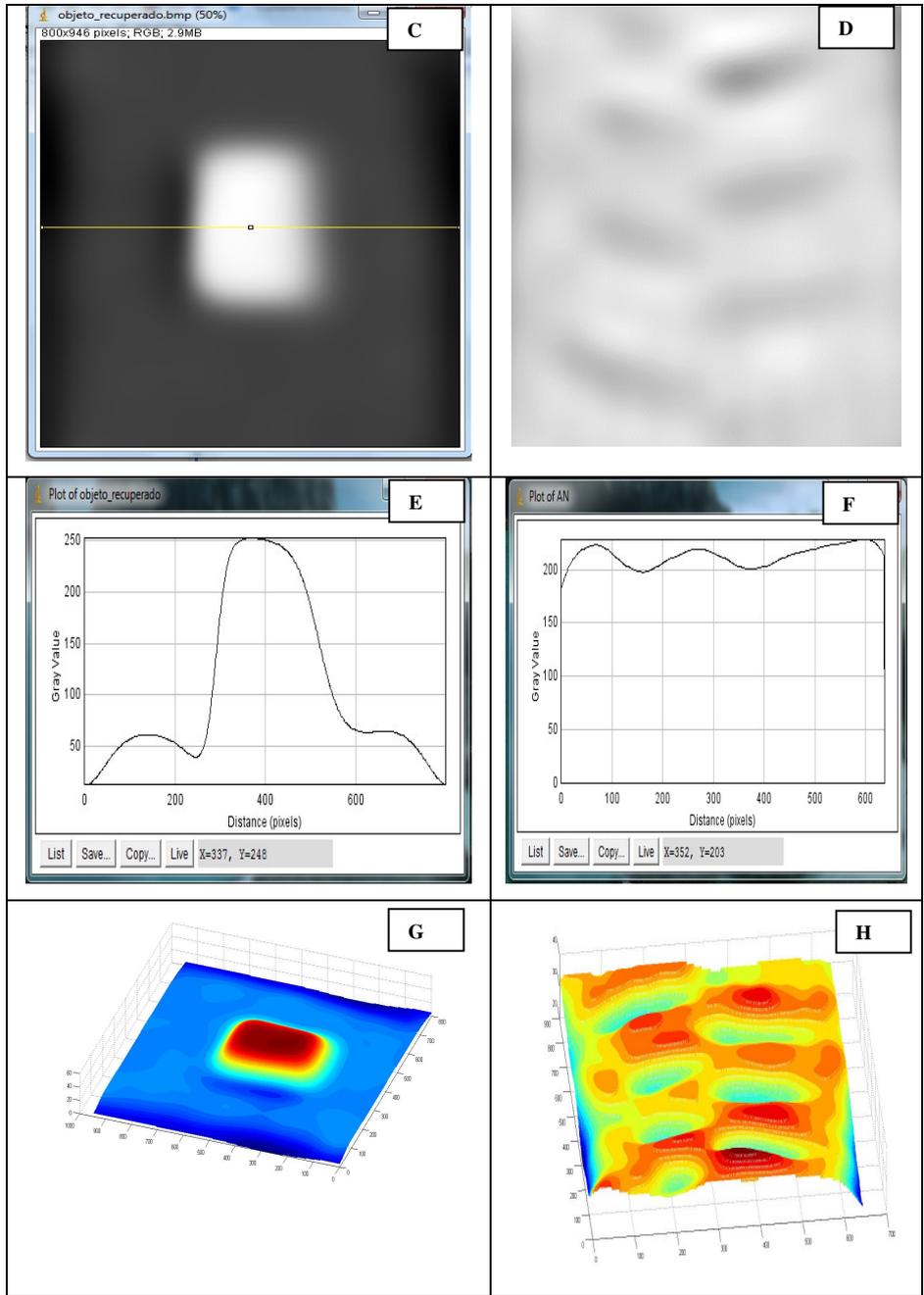


Figura 17 Apresenta as digitalizações do pedaço de madeira e do solo Com os valores reais das medidas do pedaço de madeira, foram realizadas correções para transformar as dimensões em milímetros, como se observa nas Figuras 17(G) e 17(H)

(...continua...)



Como, no solo, a suavidade das deformações evita transições bruscas, o objetivo é observar a integridade da deformação e não seu formato exato, o que é apresentado na Figura 17(H).

Na Figura 17 visualiza-se a potencialidade da técnica ao trabalhar com solo, visto que as deformações digitalizadas ficaram bem nítidas, mostrando o aprofundamento das garras devido ao esforço provocado por um pedaço de madeira (simulando um pneu e suas garras), abrindo possibilidades e expectativas para a aplicabilidade no campo.

5.3 Análise qualitativa e quantitativa da distribuição da carga do trator no solo, utilizando a técnica de moiré

5.3.1 Calibração normal

Com os pneus do trator Agrale T-4100 calibrados de acordo com o fabricante, 90 kPa (13,0 psi) na traseira, obteve-se desvio padrão em relação à imagem de 1,15 mm, relativamente pequeno em relação às condições de calibração insuficiente e excessiva, indicando que toda a banda de rodagem foi utilizada na transferência de peso do trator para o solo. Na Figura 18 (A) pode ser observado o objeto recuperado de uma calota e, na Figura 18 (B), o objeto recuperado do solo deformado.

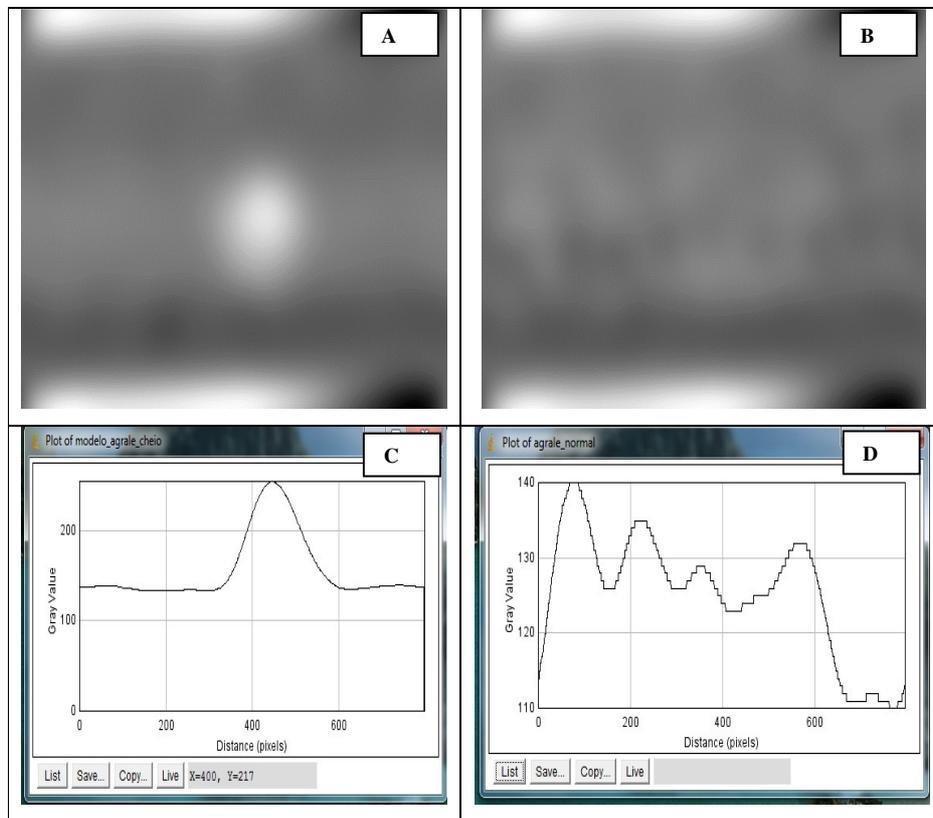


Figura 18 Apresenta o objeto recuperado da calota (A); em (B), o objeto recuperado do solo deformado; em (C), o gráfico da calota e em (D), o gráfico do solo deformado pelo pneu do trator com calibração normal

O modelo digital de elevação do objeto de referência para ser comparado posteriormente com o solo deformado pode ser observado na Figura 19.

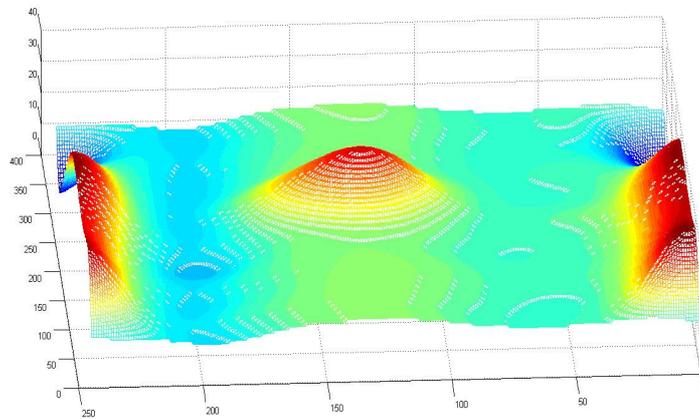


Figura 19 Modelo digital de elevação de uma calota para a calibração normal do trator Agrale T-4100

Na Figura 20 apresenta-se a deformação provocada pelo pneu do trator no solo, em calibração normal. Verifica-se que a distribuição de carga foi uniforme, assim como a utilização da banda de rodagem do pneu.

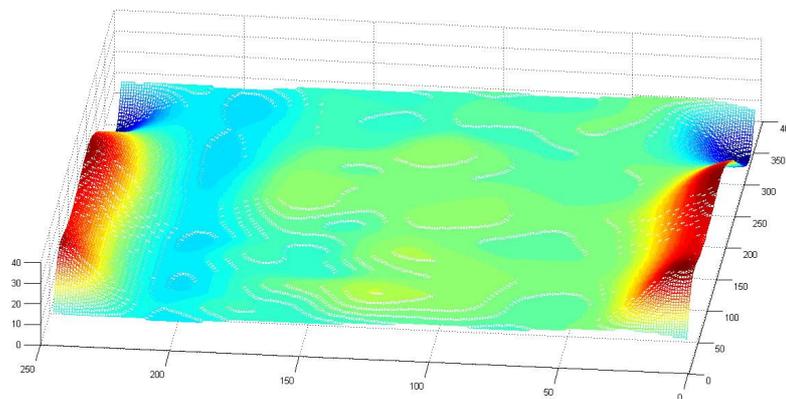


Figura 20 Modelo digital de elevação do solo deformado pelo trator Agrale T-4100 com calibração normal

A área em que o solo foi deformado pode ser observada na Figura 21 (A). Na Figura 21 (B) apresenta-se o histograma com um pico bem definido, o que indica que esta superfície está bem suavizada.

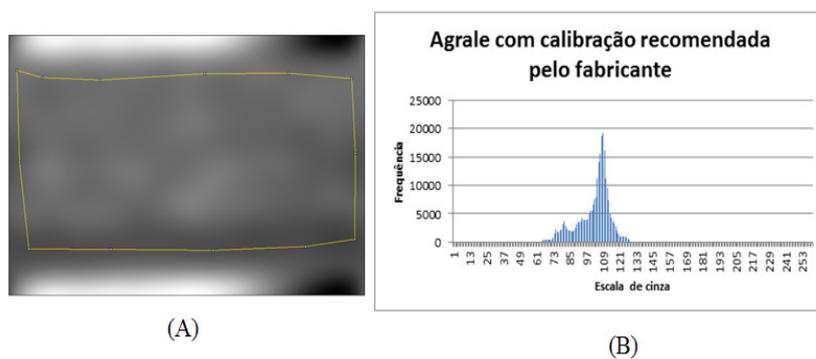


Figura 21 (A) Seleção da área do objeto recuperado para a análise dos dados do trator Agrale T-4100 com a calibração recomendada pelo fabricante; (B) histograma mostrando a frequência de cada tom da escala de cinza para o trator Agrale T-4100, com a calibração recomendada pelo fabricante

5.3.2 Calibração excessiva

Quando o pneu do trator foi calibrado com 124 kPa (18,0 psi) na traseira, obteve-se um desvio padrão maior, comparado com a calibração normal, apresentando um valor de 2,27 mm.

Na Figura 22 (A) observa-se o objeto recuperado de uma calota e, na Figura 22 (B), o objeto recuperado do solo deformado.

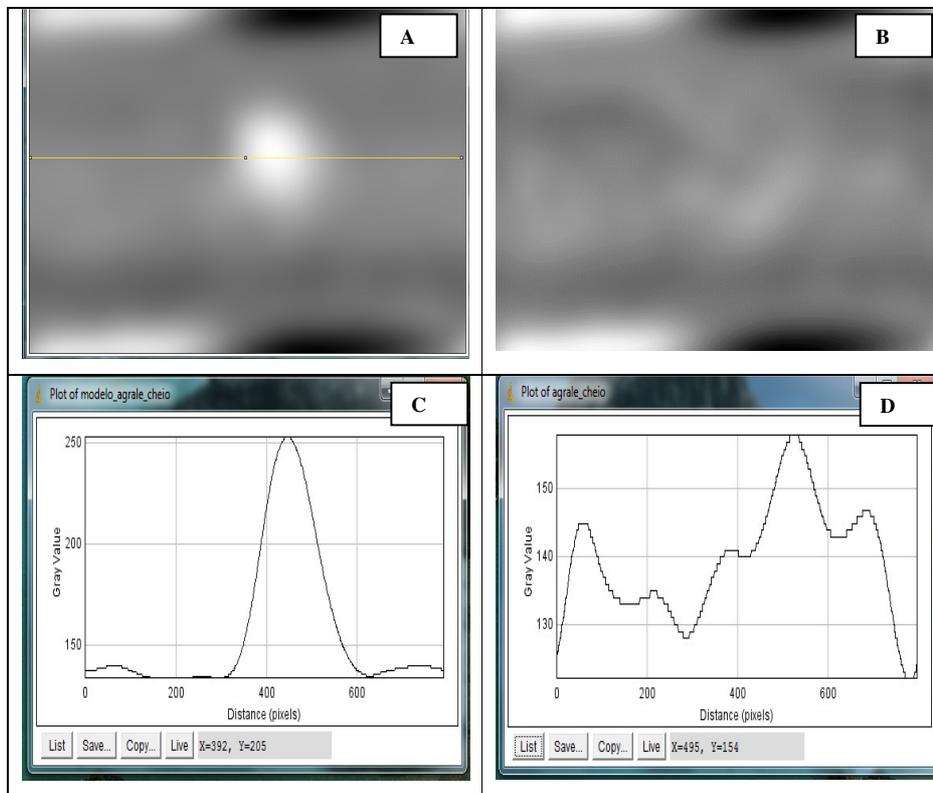


Figura 22 Apresenta o objeto recuperado da calota (A); em (B), o objeto recuperado do solo deformado; em (C), o gráfico da calota e em (D), o gráfico do solo deformado pelo pneu do trator com calibração excessiva

Na Figura 23 mostra-se o modelo digital de elevação do objeto de referência, para ser comparado posteriormente com o solo deformado.

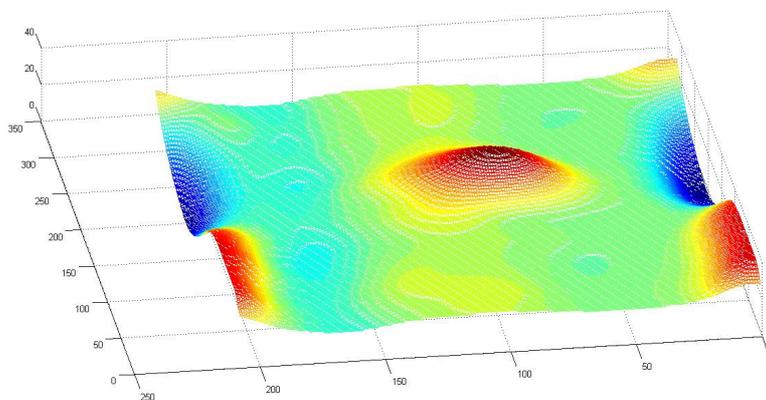


Figura 23 Modelo digital de elevação de uma calota para a calibração excessiva do trator Agrale T-4100

O rastro do pneu do trator Agrale mostrou alguns ‘buracos’ na parte média da banda de rodagem. Isso se deu porque, na situação de pressão excessiva, a concentração de peso se dá no meio da banda de rodagem e, pelo fato de o lado direito do trator estar com calibrações diferentes em relação ao lado esquerdo, surgiu o fenômeno de “galope”, já que rodas com calibrações diferentes têm o raio de rodagem diferente e causam um desequilíbrio no eixo, resultando nestes ‘buracos’ devido à oscilação do trator, como mostra o modelo digital de elevação da Figura 24.

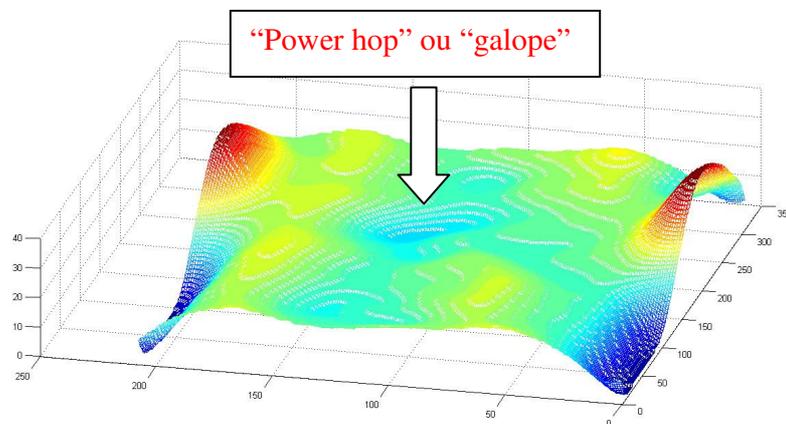


Figura 24 Modelo digital de elevação do trator Agrale T-4100 com calibração excessiva, mostrando o fenômeno de *power hop*

Na Figura 25 (A) apresenta-se a superfície do solo deformado e, na Figura 25 (B), o histograma com um pico bem concentrado na região central, o que indica que esta superfície está com deformações localizadas.

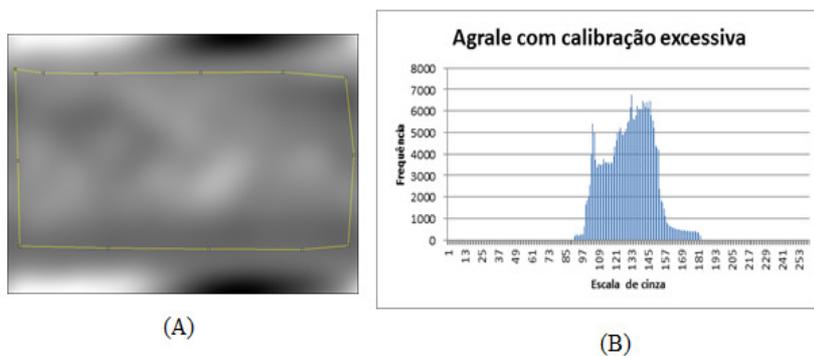


Figura 25 (A) Região dos dados selecionados no objeto recuperado; 25 (B) histograma mostrando a frequência dos diferentes tons de cinza para o trator Agrale com calibração excessiva

5.3.3 Calibração insuficiente

Na condição de calibração insuficiente, o desvio padrão obtido foi de 6,13 mm, quando calibrado com pressão de 55,2 kPa (7,0 psi) na traseira, indicando alta variabilidade de profundidade no rastro. O problema de falta de peso continua para a situação de calibração insuficiente, pois o trator é leve e não se percebem as garras do rodado impressas no solo, devido ao alto índice de deslizamento.

Esta situação obteve o maior desvio padrão das três situações, devido ao fato de, na calibração insuficiente, as partes mais solicitadas serem as laterais da banda de rodagem. Este fato faz com que a dispersão das profundidades sejam maiores, pois existem duas regiões com maior profundidade e uma zona de transição entre elas.

Na Figura 26 (A) pode ser observado o objeto recuperado de uma calota e na Figura 26 (B), o objeto recuperado do solo deformado.

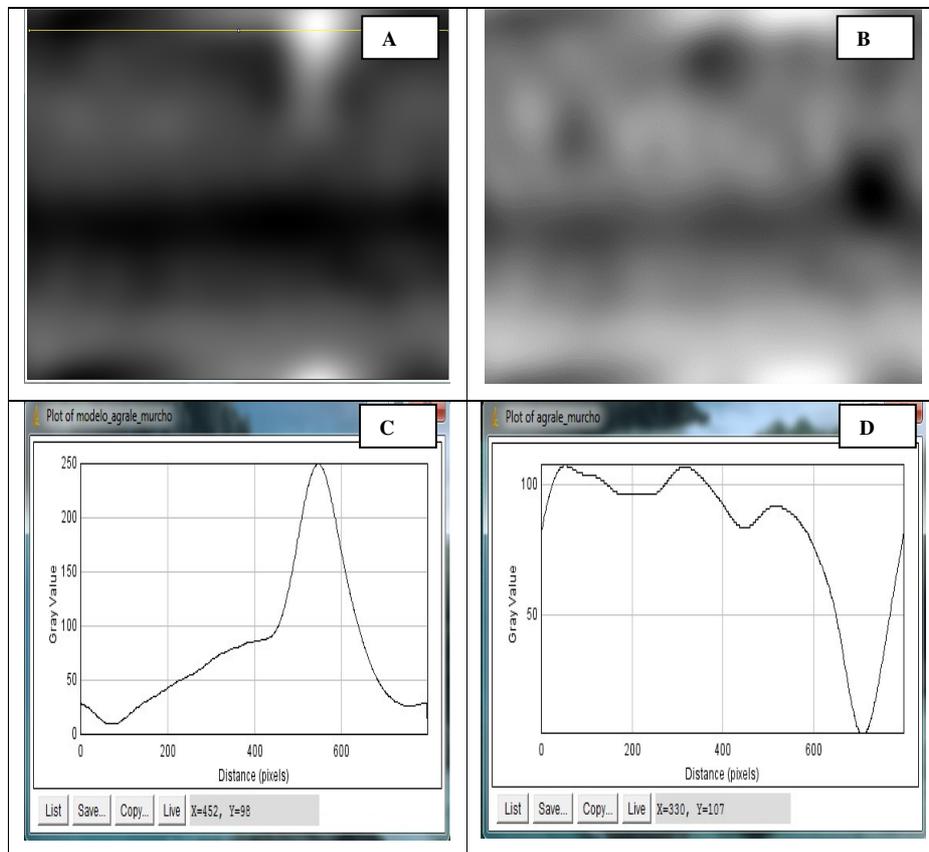


Figura 26 Apresenta o objeto recuperado da calota (A); em (B), o objeto recuperado do solo deformado; em (C), o gráfico da calota e em (D), o gráfico do solo deformado pelo pneu do trator com calibração excessiva

O modelo digital de elevação do objeto de referência, para ser comparado posteriormente com o solo deformado, pode ser observado na Figura 27.

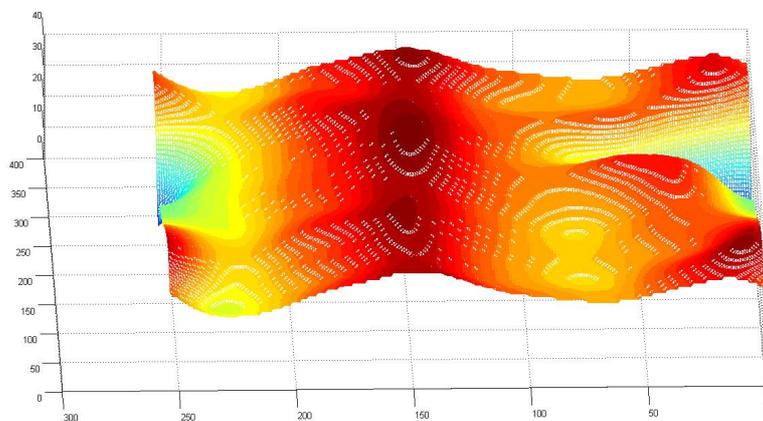


Figura 27 Modelo digital de elevação de uma calota para a calibração insuficiente do trator Agrale T-4100

Como, em um dos lados do trator, foi mantida a calibração recomendada pelo fabricante, no outro lado, com a calibração insuficiente, ocorreu o fenômeno de *power hop* na lateral externa. Na lateral interna houve um excesso de solicitação, pois esta região funcionou como o apoio de uma gangorra, enquanto as outras regiões de apoio oscilavam, como se verifica na Figura 28.

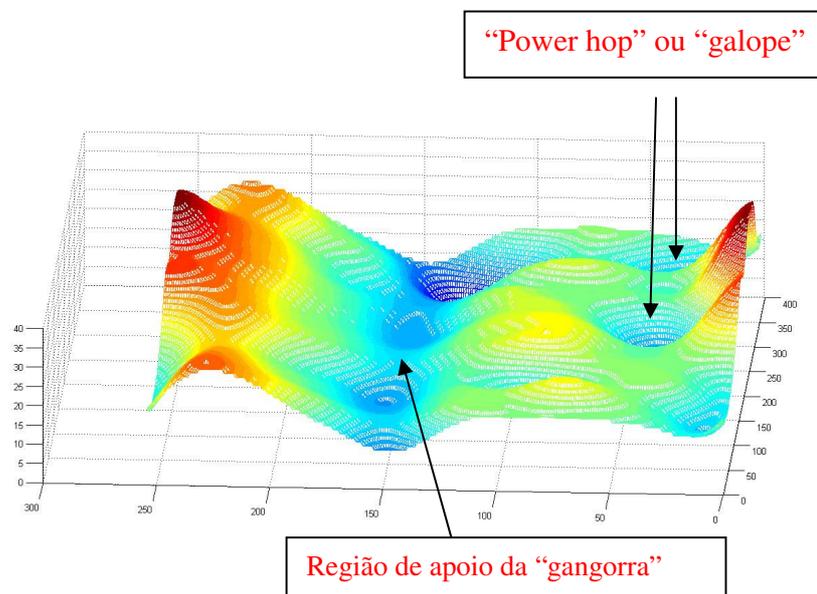


Figura 28 Modelo digital de elevação do trator Agrale T-4100 com calibração insuficiente, destacando, na região externa do pneu, o fenômeno de *power hop* e, na região interna do pneu, uma concentração excessiva da pressão de apoio

Na Figura 29 (A) é possível observar a superfície do solo deformado, enquanto, na Figura 29 (B), mostra-se o histograma com picos concentrados na região lateral.

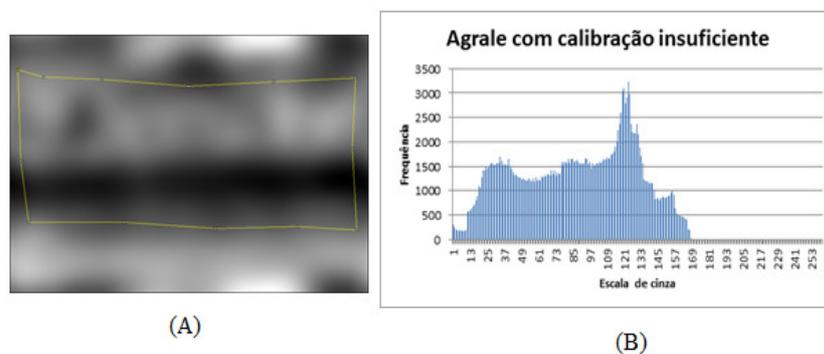


Figura 29 (A) Região selecionada para a análise dos dados; 29 (B) histograma para o trator Agrale com pressões de 117,2 kPa (12,0 psi) e 55,2 kPa (7,0 psi) no pneus dianteiros e traseiros do lado direito do trator

5.3.4 Comparação entre as diferentes calibrações

Na Figura 30 observa-se como variou a dispersão dos formatos de sulcos em diferentes calibrações. A pressão de insuflagem de 82,7 kPa (13,0 psi) na traseira, calibração recomendada pelos fabricantes, obteve menor desvio padrão, de 1,15 mm, indicando uma melhor distribuição da pressão de apoio, como era esperado. Com a calibração excessiva de 124,1 kPa (18,0 psi) na traseira, houve um desvio padrão de 2,27 mm, indicando um rastro mais disperso que na situação anterior, como esperado. O maior desvio padrão, de 6,13 mm, para a situação de calibração insuficiente, 55,2 kPa (7,0 psi), na traseira, também era esperado, já que existem duas regiões em que a pressão de apoio é maior e uma zona de transição entre elas, formando um sulco mais disperso que em outras situações.

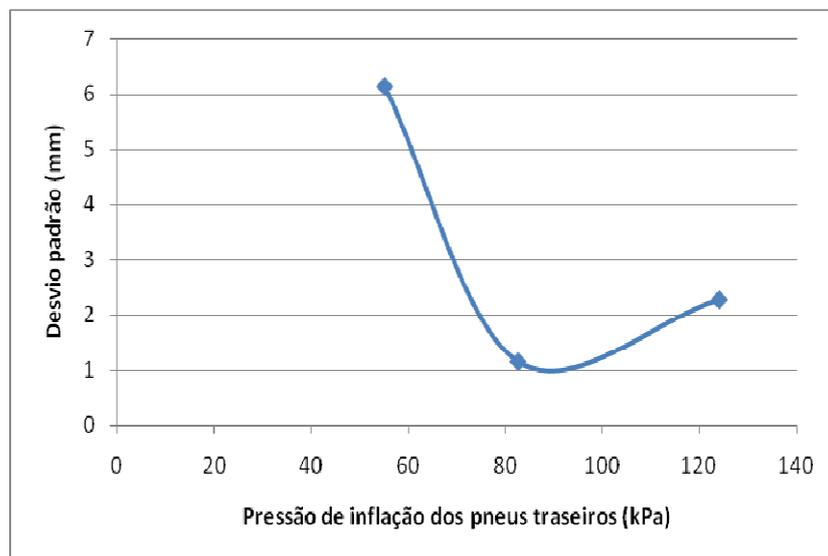


Figura 30 Curva mostrando como foi a variação do desvio padrão com a pressão de inflação dos rodados traseiros

5.4 Digitalização da simulação das marcas das garras do pneu do trator no solo por meio da luz laser

Na Figura 31, é possível observar a iluminação de um pedaço de madeira e do solo deformado, ambos com linhas de um laser projetadas, bem como os gráficos e as digitalizações do objeto e do solo, em três dimensões.

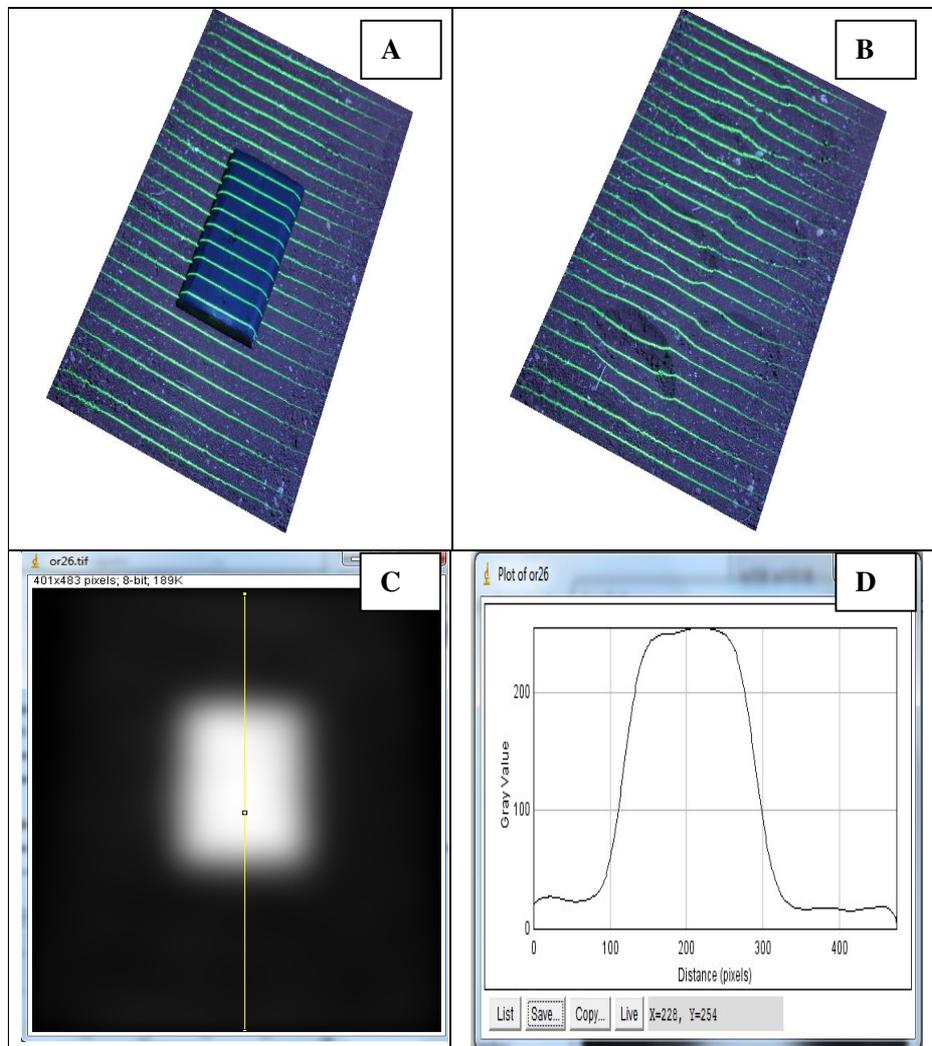
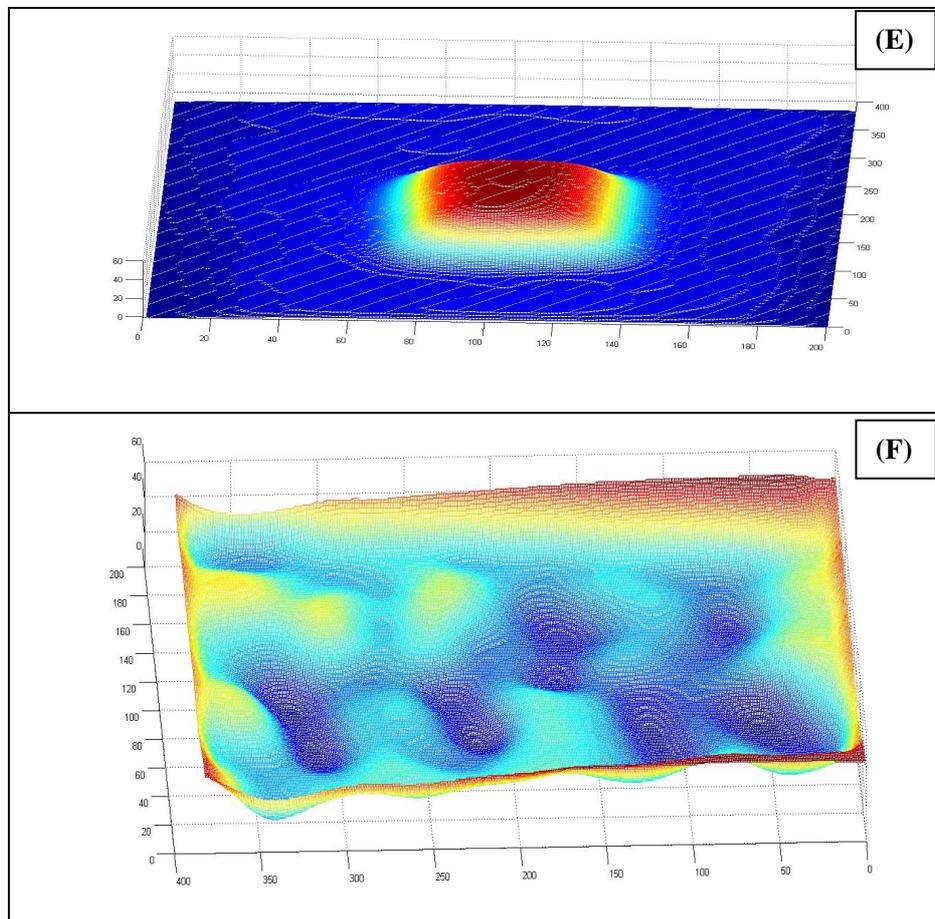


Figura 31 Apresenta em (A), a projeção das linhas laser sobre o pedaço de madeira; em (B), a projeção das linhas laser sobre o solo deformado; em (C), o objeto recuperado de um pedaço de madeira; em (D), o gráfico do pedaço de madeira; em (E), a digitalização do pedaço de madeira e, em (F), a digitalização por um scanner laser do solo deformado

(...continua...)



Com os valores reais das medidas do pedaço de madeira, foram realizadas correções, de forma que o objeto ficasse com suas dimensões em milímetros.

Na Figura 31(D) apresenta-se o gráfico do pedaço de madeira, mostrando uma superfície bem próxima à do objeto real, proporcionando uma confiabilidade para calibrar a imagem referente ao solo deformado. Nas Figuras 31(E) e (F) apresentam-se as digitalizações do pedaço de madeira e do solo

deformado, ambos em três dimensões, transformados em milímetros, mostrando a eficiência e a potencialidade da técnica ao se aplicar a esse tipo de objeto.

A deformação deve-se à perspectiva necessária para a digitalização, com a câmera sendo posicionada com um ângulo de $49,76^\circ$ saindo da linha perpendicular ao objeto, com o objetivo de captar informações referentes ao eixo Z.

Como, no solo, a suavidade das deformações evita transições bruscas como na calota, o mais relevante é observar a integridade da deformação e não seu formato exato.

Por meio do equipamento scanner laser, percebe-se a qualidade visual proporcionada pelas imagens, devido ao grau de detalhamento de que o laser pode dispor e a sua eficiência ao contornar a superfície do solo deformado, superando nossas expectativas e alimentando ideias para a aplicabilidade no campo.

6 CONCLUSÃO

O potencial do uso da técnica de moiré aplicada ao solo mostrou-se ampla e promissora, ao analisarem-se as quatro etapas propostas pelo experimento, sendo o objetivo central do trabalho uma análise qualitativa. Dispomos da capacidade de observar fenômenos, como a distribuição de pressão e de lastro, o galope e a patinagem, fatores estes que não estavam em primeiro plano, mas devido à potencialidade da técnica, tivemos a capacidade de inferir um pouco sobre esses assuntos.

A técnica desenvolvida apresentou algumas limitações, como a disposição de equipamentos e a luminosidade, fatores preponderantes a serem controlados para ser ter uma boa resposta.

Os mapas e os gráficos das superfícies do solo mostraram os esforços que os pneus do trator, com diferentes calibrações, podem ocasionar ao solo, como uma radiografia apta a diversos questionamentos.

O laser mostrou ser mais eficiente comparado à luz do projetor para o estudo em questão, devido ao melhor detalhamento e contorno da superfície do solo, porém, sua aplicação só foi possível no ambiente laboratorial, deixando desafios futuros neste campo de trabalho.

REFERÊNCIAS

ARNAL ATARES, P. V.; LAGUNA BRANCA, A. **Tractores y motores agrícolas**. Madrid: Ministerio de Agricultura, 1980. 429 p.

ASSUNDI, A.; YUNG, K. H. Logical *Moiré* and its application. **Experimental Mechanics**, London, v. 31, n. 3, p. 236-242, Sept. 1991.

BARBOSA, J. A. et al. Desempenho operacional de um trator agrícola equipado alternadamente com pneus radiais e diagonais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 474-480, 2005.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 7. ed. São Paulo: Ícone, 2010. 28 p.

CENTENO, J. A. S.; MITISHITA, E. A. *Laser Scanner* aerotransportado no estudo de áreas urbanas: a experiência da UFPR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. Disponível em: <<http://martemarte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br>>. Acesso em: 20 set. 2012.

CERAGIOLI, N. S. et al. Consumo de combustível e desempenho de um trator agrícola em função da pressão dos pneus e do lastro. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 22., 2010, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, 2010. Disponível em: <<http://energia.fca.unesp.br/>>. Acesso em: 1 mar. 2013.

CORREA, I. M. Com peso certo. **Cultivar**, Pelotas, v. 5, p. 10-11, ago. 2003. Disponível em: <<http://www.cultivar.inf.br>>. Acesso em: 1 mar. 2013.

CORREA, I. M. C. et al. Rugosidade da superfície de um cambissolo húmico relacionada com o preparo e compactação do solo sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n. 2, p. 567- 576, mar./abr. 2012.

COSTA, R. M. **Proposta de um processo de captura e análise de imagens para determinação de forma e superfície de materiais biológicos pela técnica de moiré**. 2006. 35 p. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

COSTA, R. M. et al. Sensitivity of the moiré technique for measuring biological surfaces. **Biosystems Engineering**, London, v. 100, p. 321-328, July 2008.

DALMOLIN, Q.; SANTOS, D. R. **Sistema LaserScanner: conceitos e princípios de funcionamento**. 3. ed. Curitiba: UFPR, 2004. 97 p.

DERRE, J. **Guia para instalação de lastro e pressão de inflação de pneus**.

Disponível em:

<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratadores/Literatura/LASTRO-CQ41964.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2013.

FERREIRA, M. F. **Estudo da relação cinemática entre eixos motrizes na eficiência em tração de um trator agrícola de rodas equipado com dois tipos de pneumáticos**. 1999. 192 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

FLORES, E. **Análise de máquinas agrícolas distribuidoras de fertilizantes segundo requisitos projetuais**. 2008. 169 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

GOMES, T. S. **Interferometria Speckle e Moiré geométrico aplicados à perfilometria de protótipos mecânicos**. 2005. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

GOMES, T. S. et al. Calibração da técnica de *moiré* aplicada a perfilometria de protótipos mecânicos. **Ciências e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 574-579, mar./abr. 2009.

GORDON, S.; LICHTI, D.; STEWART, M. Application of a high-resolution, ground-based laser scanner for deformation measurements. In: FIG INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DEFORMATION MEASUREMENTS, 10., 2001, Gainesville. **Proceedings...** Gainesville: University of Florida, 2010. 1 CD-ROM.

HERTZ, H. et al. Construção de um protótipo para análise postural através da técnica de moiré de sombra. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 11., 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: UFPB, 2005. p. 4.

INNS, F. M. **Agricultural tyres**. London: Dumlop, 1978. 69 p.

KELLER, T. A model for the prediction of the contact área and the distribution of vertical stress below agricultural tyres from readily available tyres parameters. **Byosystems Engineering**, London, v. 92, n. 1, p. 85-96, 2005.

LEPSCH, I. F. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175 p.

LICHTI, D.; PFEIFER, N.; MAAS, H. Terrestrial *Laser Scanning*. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, Amsterdam, v. 63, n. 1, p. 3-6, Jan. 2008.

LIMA, J. G. S. Aplicações do *Scanner* terrestre na mineração. **Revista InfoGNSS Online**, Curitiba, ano 6, n. 28, 2009. Disponível em: <<http://www.infogeo.com.br>>. Acesso em: 9 set. 2009.

LINO, A. C. L. **Técnica óptica de Moiré visando a aplicação no estudo de superfícies irregulares**. 2002. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

LINO, A. C. L.; DAL FABBRO, I. M. dal. Determinação da topografia de uma fruta pela técnica de *moiré* de sombra com multiplicação de franjas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 1, p. 119-125, jan./fev. 2004.

LINO, A. C. L. et al. Uso do software scilab para avaliar a mobilização do contato pneu-solo através de modelos digitais topográficos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 8., 2011, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: UFSC, 2011. Disponível em: <<http://www.gse.ufsc.br/sbiagro/>>. Acesso em: 26 mar. 2013.

LOPES, A. **Desgaste em pneus do rodado motriz de tratores agrícolas em função do deslizamento**. 1996. 35 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1996.

MAZZETI FILHO, V. **Utilização da interferometria de *Moiré* no estudo de tensões dinâmicas em discos flexíveis**. 2004. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

MCKENZIE, B. et al. *Moiré* as a novel approach to quantify soil compaction. **NJF Report**, Helsinki, v. 8, n. 1, p. 109-112, Mar. 2012.

MIALHE, L. G. **Máquinas motoras na agricultura**. São Paulo: EPU, 1980. v. 1, 289 p.

MONTEIRO, L. A.; SILVA, P. R. A. **Operação com tratores agrícolas**. Botucatu: Ed. dos Autores, 2009. 78 p.

NUNES, S. P. **O desenvolvimento da agricultura brasileira e mundial e a idéia de desenvolvimento rural**. Disponível em: <<http://www.deser.org.br/documentos/doc/DesenvolvimentoRural.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2013.

ORTIZ-CANAVATE, J.; HERNANZ, J. L. **Técnica de la mecanización agraria**. 3. ed. Madrid: Mundi, 1989. 641 p.

RIBEIRO JÚNIOR, S. **Determinação de volumes em atividades de mineração utilizando ferramentas do sensoriamento remoto**. Viçosa, MG: UFV, 2011. 181 p.

SCIAMMARELLA, C. A. The Moiré method: a review. **Experimental Mechanics**, Brookfield, v. 44, n. 8, p. 418-433, 1982.

SERRANO, J. M. P. R. Pressão de insuflagem dos pneus no desempenho do conjunto trator-grade de discos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 2, p. 227-233, fev. 2008.

SILVA, E. **Desenvolvimento e validação de um modelo matemático para o cálculo da área superficial de frangos de corte**. 2007. 59 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

SILVA, G. C. A. et al. Recuperação da topografia de ovos por meio da técnica de moiré e calibração independente. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 211-218, abr. 2011.

SILVA, R. B. et al. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um latossolo dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 973-983, nov./dez. 2003.

SILVEIRA, G. M. **Os cuidados com o trator**. 2. ed. Rio de Janeiro: Globo, 1988. 245 p. (Coleção do Agricultor: Mecanização).

SIQUEIRA, J. O. **Biologia do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1993. 230 p.

SIQUEIRA, J. O. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC/ESAL/FAEPE/ABEAS, 1998. 235 p.

SOANE, B. D. et al. Compaction by agricultural vehicles: a review II: compaction under tyres and other running gear. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 1, p. 373-400, 1981.

VIAN, C.; ANDRADE JÚNIOR, A. **Evolução histórica da indústria de máquinas agrícolas no mundo: origens e tendências**. Campo Grande: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2010. 19 p.

WUTKE, J. D. **Métodos para avaliação de um sistema *Laser Scanner* terrestre**. Curitiba: UFPR, 2006. 98 p.

ZORATTO, A. C. Principais impactos da cana-de-açúcar. In: FÓRUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA, 2., 2006, Tupã. **Anais...** Tupã: Amigos da Natureza, 2006. p. 18.

ANEXOS

Anexo 1 Imagens dos experimentos

A – Digitalização de uma calota – posição 01

Na Figura 32 apresenta-se a digitalização de uma calota na posição 01, conforme o arranjo experimental.

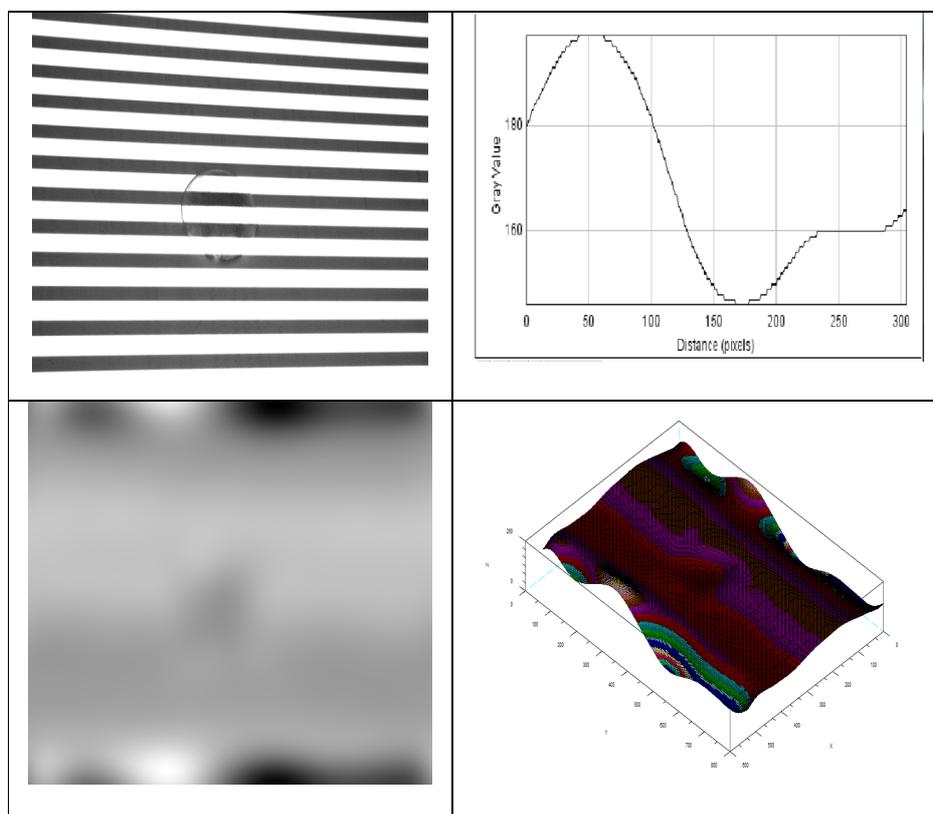


Figura 32 Digitalização de uma calota na posição 01, conforme o arranjo experimental

Percebe-se que o objeto não foi capturado nessa posição, perdendo muita informação.

A – Digitalização de uma semi esfera – posição 02

Na Figura 33 apresenta-se a digitalização de uma calota na posição 02, conforme o arranjo experimental.

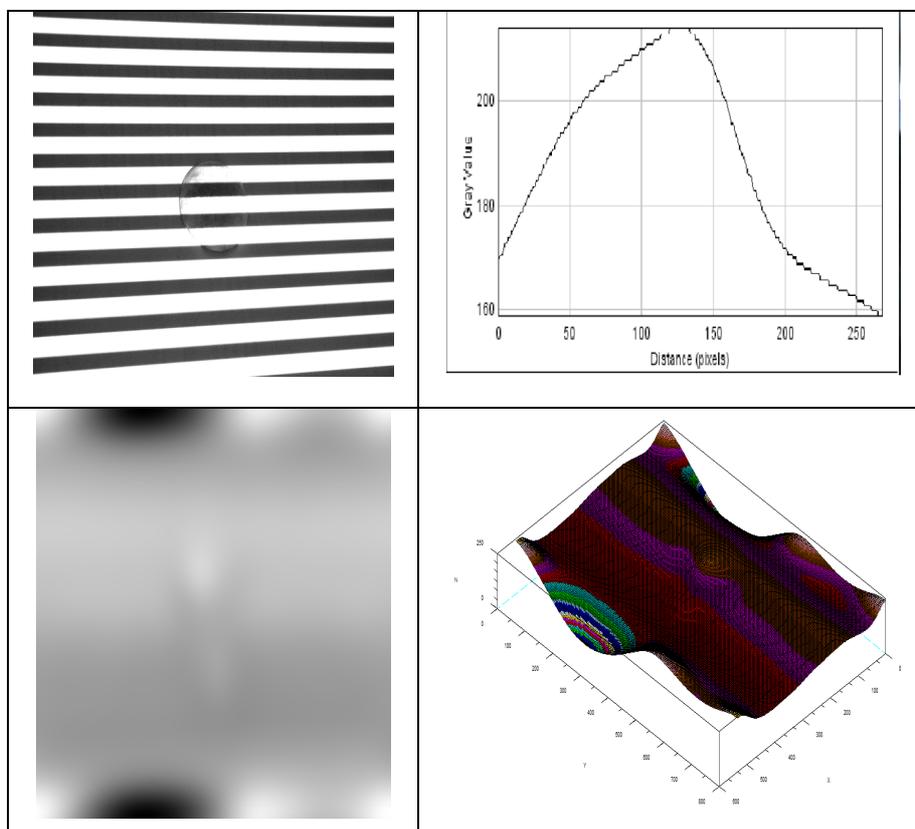


Figura 33 Digitalização de uma calota na posição 02, conforme o arranjo experimental

Percebe-se que, nessa configuração, o objeto não está sendo detalhado pela técnica, perdendo, novamente, muita informação.

A – Digitalização de uma semiesfera – posição 03

Na Figura 34 apresenta-se a digitalização de uma calota na posição 03, conforme o arranjo experimental.

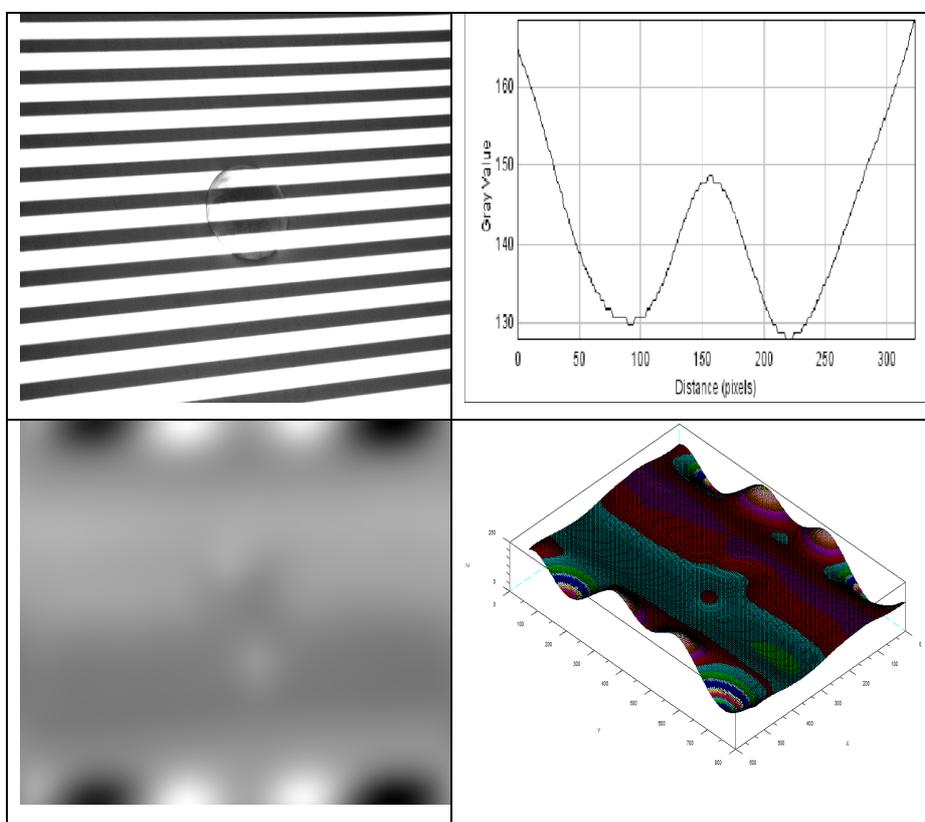


Figura 34 Digitalização de uma calota na posição 03, conforme o arranjo experimental

Percebe-se o aumento na qualidade da informação, porém, não satisfatório.

A – Digitalização de uma semiesfera – posição 04

Na Figura 35 apresenta-se a digitalização de uma calota na posição 04, conforme o arranjo experimental.

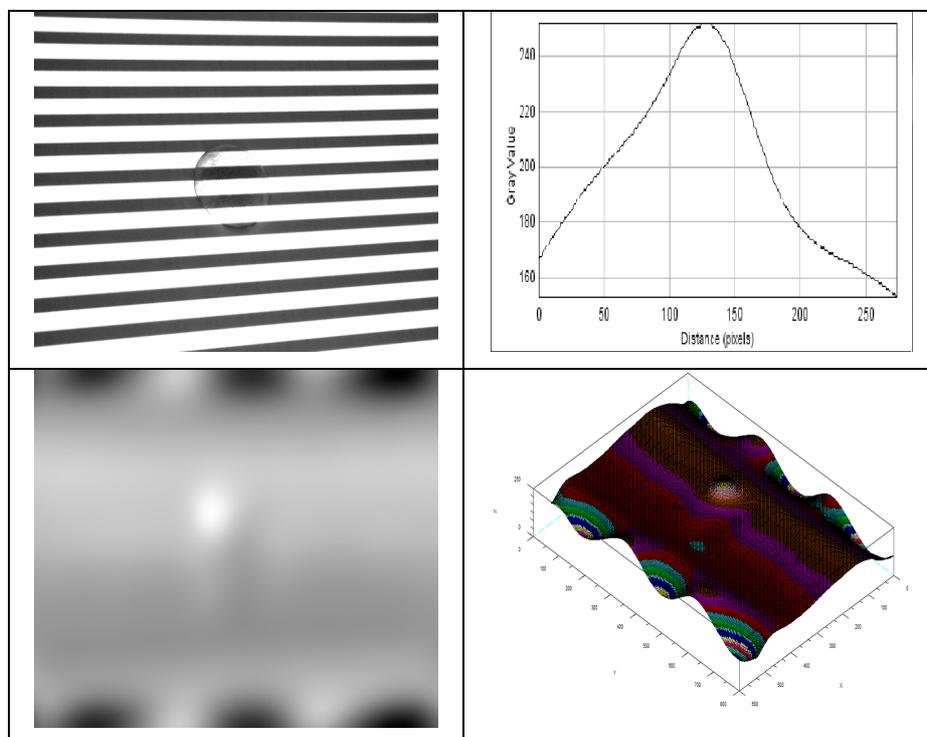


Figura 35 Digitalização de uma calota na posição 04, conforme o arranjo experimental

A posição 04 já mostra os indícios da calota.

B – Calibração da calota

Procedimentos:

- Deve-se retirar informações das dimensões, em pixels, do gráfico gerado no Imag J.
- Por meio de uma simples regra de três, encontrou-se a nova dimensão da imagem agora ajustada em (mm).
- A imagem será redimensionada com as medidas ajustadas.
- Introduce-se no Matlab a imagem, de forma a corrigir a posição no eixo x, com o seguinte comando:

```
a=imread('C:\Users\diego\Desktop\Novapasta\o22.tif');  
>> b = (46/255)*a;  
>> b=double(b);  
>> mesh(b)
```

- Agora, tem-se a imagem, gerada em milímetros, em 3D.

Dimensões da calota:

Diâmetro= 125 mm = 280 pixels

Espessura= 39 mm = 255 pixels

C – Calibrações do toco de madeira no solo

Procedimentos:

- Deve-se retirar informações das dimensões em pixels do gráfico gerado no Imag J.

- Por meio de uma simples regra de três, encontra-se a nova dimensão da imagem, agora ajustada em mm.
- A imagem será redimensionada com as medidas ajustadas.
- Introduz-se no Matlab a imagem, de forma a corrigir a posição no eixo x, com o seguinte comando:

```
a=imread('C:\Users\diego\Desktop\or\or277.tif');  
>> b = (46/255)*a;  
>> b=double(b);  
>> mesh(b)
```

- Agora tem-se a imagem, gerada em milímetros, em 3D.

Dimensões do toco de madeira:

X= 190 mm = 240 pixels

Y= 96 mm = 193 pixels

Z= 46 mm = 255 pixels

Como o solo foi o mesmo, serão aplicadas as mesmas dimensões na imagem em relação a X e Y e o programa Matlab ajustará o eixo Z.

Algoritmo com a utilização do *Phase shift*

```

stacksize(4e7);

chdir('C:\Moiré');

//*****Ler imagens das grades*****

Grade1 = gray_imread('ImagemFase0.tif');
Grade2 = gray_imread('ImagemFase8.tif');
Grade3 = gray_imread('ImagemFase16.tif');
Grade4 = gray_imread('ImagemFase24.tif');

//***** Face 1
*****

Objeto11 = gray_imread('ImagemSoloDeformado.tif'); // imagem com
grades

//Subtrair imagem do objeto das imagens das grades
s1 = abs(Objeto11-Grade1);
s2 = abs(Objeto11-Grade2);
s3 = abs(Objeto11-Grade3);
s4 = abs(Objeto11-Grade4);

//Remover grades : Filtro Gaussiano
Moiré1 = gsm2d(s1,42);
Moiré2 = gsm2d(s2,42);

```

```

Moire3 = gsm2d(s3,42);
Moire4 = gsm2d(s4,42);

//Criar uma imagem para cada filtro gaussiano
imwrite(Moire1,'Moire1.jpg');
imwrite(Moire2,'Moire2.jpg');
imwrite(Moire3,'Moire3.jpg');
imwrite(Moire4,'Moire4.jpg');

//Gerar 3D de uma face
a = imphase('bucket4a',0,Moire1,Moire2,Moire3,Moire4);
Empacotada = normal(a); //Phase shifting

Topo = unwrapl(Empacotada);

Topo_normal = 255*normal(Topo); //tava normalizada mas multiplicou
por 255 tons de cinza
//Topo_normal = Topo;
Topo_normal = gsm2d(Topo_normal,20); //Suavização Gaussiana
- remover ruídos
filtro = mkfilter('circular-mean',15); //Remove ruídos
//Topo_normal = imconv(Topo_normal, filtro);
//Topo_normal = Corte1.*Topo_normal;

//X=57.2*Topo_normal(1,:);
//Y=39.796*Topo_normal(2,:);
//Z=77.428*Topo_normal(3,:);

```

```

imwrite(normal(Topo_normal),'objeto_recuperado.bmp');
//Invertendo a imagem
Topo_normal=Topo_normal - (min(Topo_normal));
Topo_normal= (Topo_normal / max(Topo_normal))*255;
//savematfile ('Z.txt', '-ascii', 'Topo_normal(:,:)');

xset("window",2);
xbaso();xselect();plot3d1(1:3:size(Topo_normal,'r'),1:3:size(Topo_normal,'c'),To
po_normal(1:3:$,1:3:$));

////=====
=
//// Comandos para capturar parte de uma matriz by: Tadayuki
//
//// Coordenadas a serem recortadas
//i1=50;
//i2=1000;
//j1=50;
//j2=1000;
////=====
//i3=i1-1;
//j3=j1-1;
////=====
//
////Mc=0;
//
//DeltaX=1;
//DeltaY=1;

```

```

//DeltaZ=1;
//
//
//for i = i1:i2, for j = j1:j2, Topo_normal2(i-i3,j-
j3)=Topo_normal(i,j)*DeltaZ; end; end
//for i = i1:i2, for j = j1:j2, I(i-i3,j-j3)=(i-i3)*DeltaX; end; end
//for j = j1:j2, for i = i1:i2, J(i-i3,j-j3)=(j-j3)*DeltaY; end; end
//
//savematfile ('Z.txt', '-ascii', 'Topo_normal(:)');
//savematfile ('X.txt', '-ascii', 'I(:)');
//savematfile ('Y.txt', '-ascii', 'J(:)');
//
//xset("window",2);
xbase();xselect();plot3d1(1:2:size(Topo_normal2,'r'),1:2:size(Topo_normal2,'c'),
Topo_normal(1:2:$,1:2:$));
//

```

D – Algoritmo sem a utilização do *Phase shift*

```

stacksize(4e7);

chdir('C:\Users\user\Desktop\MoiraDiego\06 02 2013\LuzProjeto\Ajuste');

//*****Ler imagens da grade*****

Grade1 = gray_imread('referencia.tif');

//***** Face1 *****

Objeto11 = gray_imread('trator.tif'); // imagem com grade

//Subtrair imagem do objeto da imagem da grade

```

```
s1 = abs(Objeto11-Grade1);

//Remover grades : Filtro Gaussiano
Moire1 = gsm2d(s1,0);

imwrite(Moire1,'Moire 2 5.jpg');

Topo_normal = 255*normal(Moire1);

Topo_normal = gsm2d(Topo_normal,25);    //Suavisacao Gaussiana -
remover ruidos
filtro = mkfilter('circular-mean',15);    //Remove ruidos
Topo_normal = imconv(Topo_normal, filtro);
imwrite(normal(Topo_normal),'objeto_recuperado 1g.bmp');

Topo_normal=Topo_normal; //Invertendo a imagem

xset("window",1);
xbasec();xselect();plot3d1(1:3:size(Topo_normal,'r'),1:3:size(Topo_normal,'c'),To
po_normal(1:3:$,1:3:$)); // 1:4 só modifica a visualização do gráfico
```