

UNIVERSIDADE DE MOGI DAS CRUZES
JOSUÉ AFONSO

CARACTERIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE DE PAPEL CARTÃO
UTILIZADO EM PROCESSOS DE IMPRESSÃO

Mogi das Cruzes, SP
2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE DE MOGI DAS CRUZES
JOSUÉ AFONSO

CARACTERIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE DE PAPEL CARTÃO
UTILIZADO EM PROCESSOS DE IMPRESSÃO

Dissertação apresentado ao programa de pós-graduação da Universidade de Mogi das Cruzes como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.

Área de Concentração: Biotecnologia Industrial.

Prof^o Orientador: Dr. Flávio Aparecido Rodrigues

Mogi das Cruzes, SP
2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Universidade de Mogi das Cruzes - Biblioteca Central

Afonso, Josué

Caracterização da superfície de papel cartão utilizado em processos de impressão / Josué Afonso. – 2010.

52 f.

Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) -
Universidade de Mogi das Cruzes, 2010

Área de concentração: Biotecnologia Industrial

Orientador: Prof^o Dr^o Flávio Aparecido Rodrigues

1. Marmorização 2. Papel 3. Força e rugosidade -
Microscopia I. Rodrigues, Flávio Aparecido

CDD 676

ATAS

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM BIOTECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE MOGI DAS CRUZES

Às quinze horas do dia vinte e nove de abril de dois mil e dez, na Universidade de Mogi das Cruzes, realizou-se a defesa de dissertação "Caracterização da superfície de papel cartão em processos de impressão" para obtenção do grau de Mestre pelo(a) candidato(a) **Josué Afonso**. Tendo sido o número de créditos alcançados pelo(a) mesmo(a) no total de 48 (cinquenta), a saber: 24 unidades de crédito em disciplinas de pós-graduação e 24 unidades de crédito no preparo da dissertação, o(a) aluno(a) perfaz assim os requisitos para obtenção do grau de Mestre. A Comissão Examinadora estava constituída dos Senhores Professores Doutores Flávio Aparecido Rodrigues e Claudio Saburo Shida da Universidade de Mogi das Cruzes, e Jean Jacques Bonvent da Universidade Federal do ABC, sob a presidência do(a) primeiro(a), como orientador(a) da dissertação. A Sessão Pública da defesa de dissertação foi aberta pelo Senhor Presidente da Comissão que apresentou o(a) candidato(a). Em seguida o(a) candidato(a) realizou uma apresentação oral da dissertação. Ao final da apresentação da dissertação, seguiram-se as arguições pelos Membros da Comissão Examinadora. A seguir a Comissão, em Sessão Secreta, conforme julgamento discriminado por cada membro, considerou o(a) candidato(a)

aprovado por unanimidade
(aprovado(a)/reprovado(a)) (unanimidade/majoria)

Mogi das Cruzes, 29 de abril de 2010.

Comissão Examinadora

Julgamento

Flávio Rodrigues
Prof. Dr. Flávio Aparecido Rodrigues

aprovado
(aprovado(a)/reprovado(a))

Claudio Shida
Prof. Dr. Claudio Saburo Shida

aprovado
(aprovado(a)/reprovado(a))

Jean Jacques Bonvent
Prof. Dr. Jean Jacques Bonvent

Aprovado
(aprovado(a)/reprovado(a))

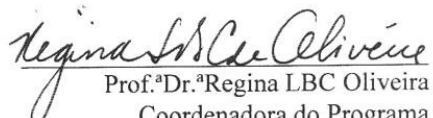
ADENDO

ADENDO À ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM BIOTECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE MOGI DAS CRUZES

Às quinze horas do dia vinte e nove de abril de dois mil e dez, na Universidade de Mogi das Cruzes, realizou-se a defesa de dissertação “Caracterização da superfície de papel cartão em processos de impressão” para obtenção do grau de Mestre pelo(a) candidato(a) **Josué Afonso**.

Em adendo, o título da dissertação, conforme sugestão da banca, foi alterado para “Caracterização da superfície de papel cartão utilizado em processos de impressão”, o que deverá constar nas cópias definitivas da dissertação.

Mogi das Cruzes, 29 de abril de 2010.


Prof.ª Dr.ª Regina LBC Oliveira
Coordenadora do Programa
Pós-Graduação em Biotecnologia

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, que nos deu a vida e permite que façamos dela nossas grandes obras.

Dedico esta dissertação à minha querida mãe Thereza da Silva Afonso, ao meu querido pai João Afonso, à minha querida filha Gabriela Correia da Silva Afonso e à minha amada esposa Ana Paula Correia da Silva Afonso.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Flávio Aparecido Rodrigues que me orientou da melhor forma possível.

Aos membros da Banca Examinadora, pelas arguições e sugestões para a redação final da dissertação.

Ao Alexandre Emmerick (Master Black Belt), que aprimorou os meus conhecimentos em análises estatísticas.

Ao Fábio Tomczak pelas sugestões durante a realização deste trabalho.

À Suzano Papel e Celulose.

À UMC.

A todas as pessoas, que participaram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

EPÍGRAFE

“Uma mente que se abre a uma nova idéia jamais volta ao seu tamanho original”.

(Albert Einstein)

RESUMO

A indústria de papel e celulose é um importante setor industrial. A produção de papel envolve diversas etapas, desde a extração de madeira até, em alguns casos, a impressão e posterior distribuição do produto final. O papel cartão é um tipo de papel muito empregado em embalagens e capas. Durante o processo de preparação do papel cartão, observa com frequência um processo conhecido por marmorização, no qual a distribuição da cor não é homogênea sobre a superfície. Pode-se classificar o papel como nível 1 (excelente qualidade) e nível 5 (baixa qualidade). Este trabalho descreve a utilização de microscopia de força atômica para caracterizar a superfície de papel cartão comercial e investiga sua viabilidade para comparar dois tipos de superfícies: o papel cartão nível 1 e o papel cartão marmorizado, nível 5. Foram obtidas imagens topográficas utilizando-se um microscópio de força atômica (Shimadzu SPM 9600), utilizando o modo contato. Foram obtidas imagens com dimensões de 100 x 100 μm . Os resultados foram analisados utilizando-se como parâmetro a rugosidade industrial padrão, R_{zjis} . Observou-se que as amostras de nível 1 são estatisticamente diferentes quando comparadas às amostras de nível 5, dentro de um intervalo de confiança de 95% em relação ao teste estatístico One-way ANOVA.

Palavras-chave: marmorização, papel, microscopia de força atômica e rugosidade.

ABSTRACT

Paper and cellulose industry is an important industrial sector. Paper production involves several different steps, from the withdrawal of trees to printing process, for some kind of products. Card paper is widely used to packing and front pages. In the production of paper, it is frequently observed a damaging process, called mottling. When this surface is closely observed, the color distribution is not homogeneous. Shortly, card paper can be classified as type 1 (high quality) and type 5 (very low quality). This work describes the use of atomic force microscopy to characterize the surface of card paper and to evaluate its feasibility to compare two kinds of paper surface: type 1 and type 5. Topographic images were obtained using an atomic force microscope (Shimadzu SPM 9600), through the contact mode. There were obtained images of 100x 100 μm , for each kind of paper. Results were analyzed using the industrial standard roughness, R_{zjis} . It was observed that samples belonging to type 1 are statistically different from paper type 5, using the statistic test One-way ANOVA.

Keywords: mottling, paper, atomic force microscopy and roughness.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

- Figura 1** - Processo de fabricação do papel: início do corte da madeira (matéria-prima da fabricação de celulose), seguindo por meios de transportes com destino ao pátio de madeira situado na indústria. A madeira segue em processo contínuo, passando pelo descascador, picador, estocagem do cavaco, e por fim a parte de cozimento para extração de celulose..... 17
- Figura 2** - Fluxograma de preparação das fibras celulósicas para o processo de fabricação do papel..... 18
- Figura 3** - Caixa de entrada da máquina de papel onde recebe a massa celulósica, com fluxo contínuo que passa pelas regiões de formação e de prensagem da folha de papel..... 18
- Figura 4** - Processo de secagem, aplicação de tintas ou amidos, a pós-secagem e a formação de bobina de papel..... 19
- Figura 5** - Setor de acabamento do papel, onde tem a área de rebobinadeiras que diminuem o tamanho e o peso das bobinas de papel e o setor de cortes para enviar aos fornecedores dimensões variáveis de papel a pedido do cliente. 20
- Figura 6** - Imagem topográfica tridimensional de microscopia de força atômica (AFM), de uma superfície metálica (aço). 21
- Figura 7** - Princípio básico de funcionamento da microscopia de força atômica (AFM), com posicionamento da ponta sobre a amostra para a coleta de dados. 22
- Figura 8** - Imagem obtida por microscopia de força atômica mostrando a superfície externa de um fio de cabelo 23
- Figura 9** - Mostra as áreas A_1 e A_2 , que se deve ser igual à área A_3 , que define onde a linha média se traça em relação ao comprimento da amostragem. Definindo linha média (l_m)..... 25
- Figura 10** - Representa a rugosidade média R_a , onde $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$ são os valores dos picos acima e abaixo da linha média, à distância entre o topo do pico e a base da superfície, a partir de cada medida é representado pela letra Y 26
- Figura 11** - Representa a soma entre a distância do R_p e R_v , que são definidos entre as medidas do topo do pico mais elevado e o topo da vale mais elevado, definindo a rugosidade parcial R_z 27
- Figura 12** - Representa a soma entre as distâncias dos cinco picos acima (Y_{pn}) e abaixo (Y_{vn}) da linha média, portanto a soma entre as variações dos conjuntos elevados se divide por 5, denominado o parâmetro R_{zJIS} 28

| | |
|---|----|
| Figura 13 - Representa o desvio médio (R_q), em relação à linha média, ou seja, é linha que traça em relação ao desvio médio quadrático dos valores obtido pelo parâmetro R_a . A linha é situada acima da linha média, que se define o parâmetro R_q . | 29 |
| Figura 14 - Representa o parâmetro R_p , ou seja, é a medida entre o topo do pico mais elevado em relação à linha média. | 29 |
| Figura 15 - Representa o parâmetro R_v , ou seja, é medida da distância entre o maior topo do vale (R_v) em relação à linha média. | 30 |
| Figura 16 – Padrão de marmorização visual, para comparar os resultados obtidos no aparelho que faz a impressão do papel (tamanho da amostra 20x5cm analisado no “Prufbau MZ II Multipurpose Printability Testing Instrument”). As análises dos testes visuais compara os níveis 1, 2, 3, 4 e 5. Os níveis de 1 a 4 o papel é liberado para venda e o nível 5 o lote é reprovado. | 31 |
| Figura 17 - (a) superfície sem o efeito de marmorização, classificado por nível 1 e (b) representa a superfície do papel cartão marmorizado, classificado por nível 5. | 32 |
| Figura 18 - Imagens topográficas obtida por microscopia de força atômica (modo contato) para papel cartão nível 1 (a), com rugosidade R_z de 1214 nm e para papel cartão nível 5 (b), com rugosidade R_z de 2061 nm. | 35 |
| Figura 19 - Imagens topográficas obtida por microscopia de força atômica (modo contato) para papel cartão nível 1 (c), com rugosidade R_z de 1316 nm e para papel cartão nível 5 (d), com rugosidade R_z de 2200 nm. | 36 |
| Figura 20 - Imagens topográficas obtida por microscopia de força atômica (modo contato) para papel cartão nível 1 (e), com rugosidade R_z de 1344 nm e para papel cartão nível 5 (f), com rugosidade R_z de 2244 nm. | 37 |
| Figura 21 - Imagens topográficas obtida por microscopia de força atômica (modo contato) para papel cartão nível 1 (g), com rugosidade R_z de 1350 nm e para papel cartão nível 5 (h), com rugosidade R_z de 2292 nm. | 38 |
| Figura 22 - Imagens topográficas obtida por microscopia de força atômica (modo contato) para papel cartão nível 1 (i), com rugosidade R_z de 1421 nm e para papel cartão nível 5 (j), com rugosidade R_z de 2334 nm. | 39 |
| Figura 23 - Imagens topográficas obtida por microscopia de força atômica (modo contato) para papel cartão nível 1 (k), com rugosidade R_z de 1461 nm e para papel cartão nível 5 (l), com rugosidade R_z de 2378 nm. | 40 |

| | |
|--|----|
| Figura 24 - Imagens topográficas obtida por microscopia de força atômica (modo contato) para papel cartão nível 1 (m), com rugosidade R_z de 1467 nm e para papel cartão nível 5 (n), com rugosidade R_z de 2611 nm. | 41 |
| Figura 25 - Imagens topográficas obtida por microscopia de força atômica (modo contato) para papel cartão nível 1 (o), com rugosidade R_z de 1531 nm e para papel cartão nível 5 (p), com rugosidade R_z de 2622 nm. | 42 |
| Figura 26 - Imagens topográficas obtida por microscopia de força atômica (modo contato) para papel cartão nível 1 (q), com rugosidade R_z de 1600 nm e para papel cartão nível 5 (r), com rugosidade R_z de 3343 nm. | 43 |
| Figura 27 - Imagens topográficas obtida por microscopia de força atômica (modo contato) para papel cartão nível 1 (s), com rugosidade R_z de 1791 nm e para papel cartão nível 5 (t), com rugosidade R_z de 3681 nm. | 44 |
| Figura 28 - Gráfico comparativo entre as análises do papel cartão nível 1 e nível 5, obtido da análise estatística One-way ANOVA. | 46 |
| Figura 29 - Gráfico comparativo entre as análises do papel cartão nível 5 (área azul) e nível 1 (área tracejada verde)..... | 47 |

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Resultados obtidos das topografias realizados no aparelho de microscopia de força atômica (AFM), com parâmetro de rugosidade R_{zjis} para o nível 1 e nível 5.....45
- Tabela 2** - Representa as análises estatística One-way ANOVA, realizada em ambos os papéis cartões (nível 1 e nível 5). Comprovando estatisticamente que são diferentes em intervalo de confiança de 95 %..46

LISTA DE EQUAÇÕES

- Equação 1** - Onde $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$ é a soma de todos os picos medidos em relação ao sentido da linha média (l_m) e são divididos por n , ou seja, pela quantidade de picos encontrados acima e abaixo do sentido l_m26
- Equação 2** - Parâmetro de rugosidade R_{ZJIS}28

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 16 |
| 1.1 INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL | 16 |
| 1.1.1 Fabricação de Celulose | 16 |
| 1.1.2 Fabricação de Papel..... | 17 |
| 1.2 MICROSCOPIA DE FORÇA ATÔMICA (AFM) | 20 |
| 1.2.1 Princípio de Funcionamento do AFM | 21 |
| 1.3 RUGOSIDADE | 22 |
| 1.3.1 Rugosidade Média (R_a) | 25 |
| 1.3.2 Rugosidade Parcial (R_z)..... | 26 |
| 1.3.3 Rugosidade Industrial Padrão (R_{zJIS})..... | 27 |
| 1.3.4 Rugosidade Média Quadrática (R_q)..... | 28 |
| 1.3.5 Rugosidade Máxima do Pico (R_p) | 29 |
| 1.3.6 Rugosidade Máxima do Vale (R_v)..... | 29 |
| 1.4 O PROBLEMA DA MARMORIZAÇÃO | 30 |
| 2 OBJETIVO | 33 |
| 3 MÉTODO | 34 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 35 |
| 4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS IMAGENS..... | 45 |
| 5 CONCLUSÕES | 48 |
| REFERÊNCIAS | 49 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL

Segundo a Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA) o Brasil é o 4º produtor mundial de celulose, com 12,7 milhões de toneladas e 11º entre os fabricantes de papel, com 9,4 milhões de toneladas. O consumo per capita de papel é de 46,2 kg/pessoa. No ano de 2008, da produção total de 9,4 milhões de toneladas, 700.000 toneladas foram de papel cartão.

O papel cartão é o resultado da união de várias camadas sobrepostas de papel aderidas por compressão. As camadas podem ser compostas de celulose virgem (recursos renováveis) ou materiais reciclados celulósicos; a gramatura pode variar de 200 a 500 g/m². Existem diversos tipos de cartões, entre os quais, podemos destacar os papéis cartões do tipo duplex, triplex e sólido.

O cartão duplex apresenta a superfície branca, o miolo e o verso escuro. O triplex apresenta a superfície e o verso brancos, sendo o miolo escuro. No sólido, todas as camadas são brancas. As principais aplicações do papel cartão são em embalagens (caixa de sabão em pó, caixa de bombons, fast-food), capas de livros, cartões postais, etc. (BRACELPA, 2010)

1.1.1 Fabricação de Celulose

Segundo Tomazello (1987), a fabricação de celulose e papel na maioria das vezes são utilizadas fibras do reino vegetal. São de árvores do grupo das dicotiledôneas arbóreas (angiospermae) e das coníferas (Gymnopsesmae). Estas são conhecidas como folhosas (porosas, duras ou “hardwood”) e resinosas (não porosas moles ou “softwood”).

Segundo Almeida (1988), no Brasil a madeira usada como matéria-prima para produção de pastas celulósicas provém das espécies arbóreas de eucaliptos e pinos. As árvores são matérias-primas utilizadas na fabricação de celulose e chegam das áreas de reflorestamentos, ou seja, as árvores são plantadas em terrenos que sofrem ou sofreram com degradações e erosões na maioria das vezes. O corte da

madeira ocorre na região florestal (fazenda de replantio), e segue para indústria através de diversos meios de transportes.

Segundo Klunghness (2003); Gleisner (2003), após a chegada à fábrica, a madeira pode ser processada imediatamente ou então ser mantida em estoque para utilização futura. No início do processo da fabricação de celulose a tora segue do pátio de estocagem para o descascador, onde é realizadas a remoção da casca e a limpeza das madeiras. Em processo contínuo a tora já sem sua proteção externa (casca), segue para o processo de picadores. A função dos picadores é reduzir as toras em fragmentos, cujo tamanho facilite o cozimento e a penetração de aditivos químicos. Após as toras serem picadas, originando novos pedaços pequenos (cavacos), segue por sistemas de correias pneumáticas (esteiras), e estocados em pilhas que atingem alturas acima de vinte metros. Com auxílio de esteiras, os cavacos são transportados para os digestores, onde são misturados os aditivos. Os cavacos são submetidos à alta pressão e temperatura, obtendo no processo final a extração de fibras celulósicas como mostra na figura 1 o macro fluxo da fabricação de celulose.

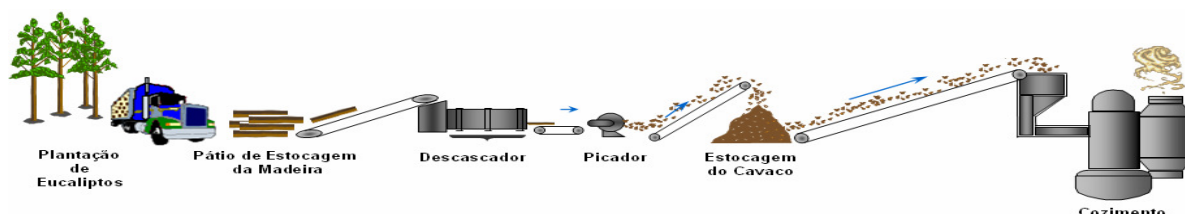


Figura 1 - Processo de fabricação do papel: início do corte da madeira (matéria-prima da fabricação de celulose), seguindo por meios de transportes com destino ao pátio de madeira situado na indústria. A madeira segue em processo contínuo, passando pelo descascador, picador, estocagem do cavaco, e por fim a parte de cozimento para extração de celulose.

1.1.2 Fabricação de Papel

Segundo Almeida (1988), o processo de fabricação de papel inicia com a preparação de massa (fibras celulósicas), as fibras podem ser adquiridas no processo de bombeamento dos tanques de estocagem (situado no setor de fabricação de celulose), ou adquiridas de fábricas externas.

Na estocagem de fibras celulósicas, há contaminações de rejeitos misturados entre si (palitos de madeiras), passando por processo de depuração, ou seja, em peneiras com fendas que removem os rejeitos.

A celulose é submetida ao processo onde são acrescentados aditivos, repassando a massa celulósica preparada em fluxo contínuo (figura 2) em direção a caixa de entrada da máquina de papel.

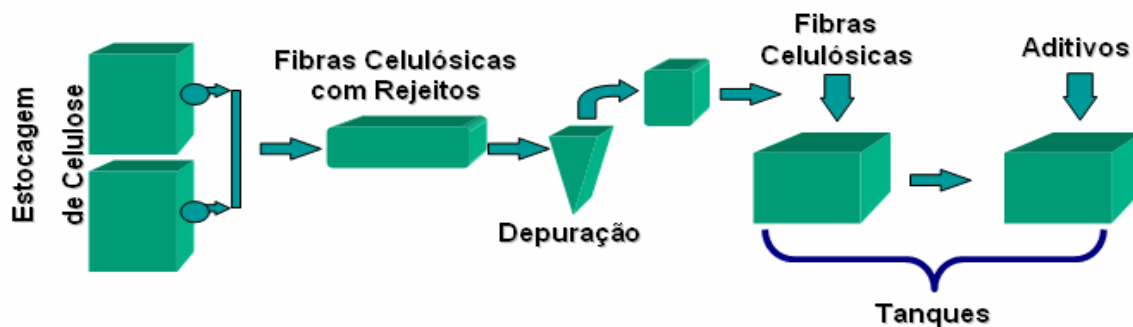


Figura 2 - Fluxograma de preparação das fibras celulósicas para o processo de fabricação do papel.

Segundo Matsushita (2008), a caixa de entrada é o primeiro elemento da máquina de papel, suas funções são: eliminar a turbulência excessiva no circuito, igualar o fluxo do alimentador, estabilizar a velocidade desse fluxo e enviar a massa celulósica para tela de formação do papel. A consistência da celulose na tela é de 4 a 5 %, que seguem com destino à região de formação da folha de papel. Com fluxo contínuo, a folha segue para o processo da área de prensagem. A função primordial da prensagem de uma máquina de papel é remover a quantidade máxima possível de água da folha de papel, antes de submetê-la a secagem por calor. A figura 3 mostra a caixa de entrada para a região de formação e a área de prensagem da folha de papel.

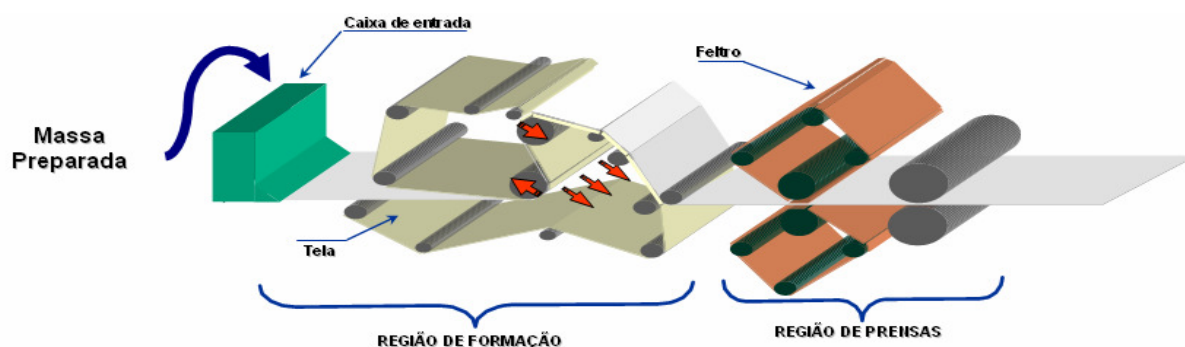


Figura 3 - Caixa de entrada da máquina de papel onde recebe a massa celulósica, com fluxo contínuo que passa pelas regiões de formação e de prensagem da folha de papel.

Segundo Keller (1978), após a retirada da água contida na formação do papel através das prensas, a folha segue para a área de secagem. O processo de secagem é feito pela remoção da água por evaporação, ou seja, a folha de papel

passa sobre cilindros aquecidos e protegidos por capotas térmicas para manter a temperatura estável. A folha segue para área de aplicação, onde são aplicadas as camadas de tintas (papel cartão) ou banho de amido (papel offset). Após a aplicação o papel segue em circuito fechado para região de pós-secagem para secar o papel que foi pintado.

Com a fase final a folha de papel é submetida ao processo de calandragem; a calandra é um conjunto de dois rolos de aços polidos, que atuam um contra o outro por meio de um dispositivo de pressão; entre eles passa continuamente a folha de papel. A finalidade da calandra é alisar a superfície proporcionando brilho e consecutivamente diminuir as imperfeições da superfície do papel. Após a calandragem do papel há um rebobinador que segue a velocidade da máquina, produzindo rolos jumbos com aproximadamente 12 toneladas com largura de aproximadamente 5 metros, como mostra na figura 4 representando a fase final da fabricação do papel.

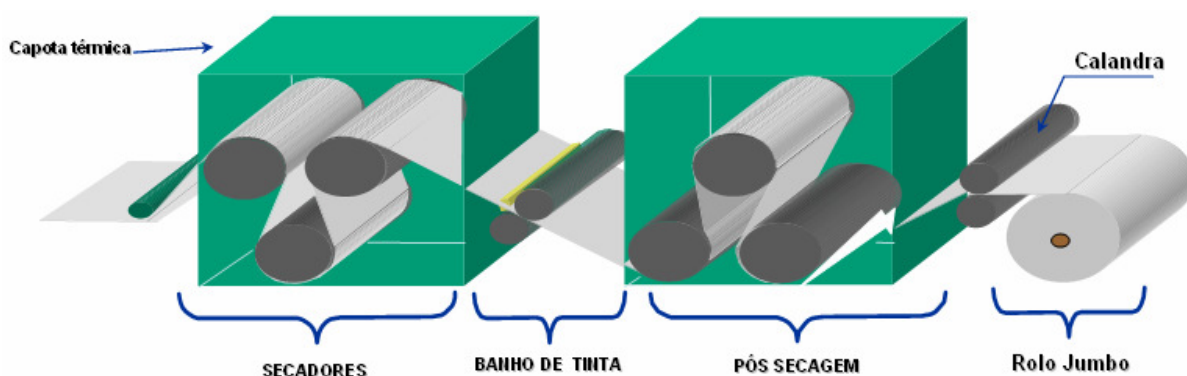


Figura 4 - Processo de secagem, aplicação de tintas ou amidos, a pós-secagem e a formação de bobina de papel.

Segundo Ivan (1976) a seção de rebobinadeiras e cortes é a etapa final do produto acabado da máquina de papel. Basicamente existem dois formatos para a venda do papel (bobina e palete). As bobinas com aproximadamente 12 toneladas são submetidas ao processo de rebobinamento, ou seja, formam bobinas de 2 toneladas com largura de aproximadamente 1,50 metros que são destinados aos clientes. Na etapa seguinte a bobina de 2 toneladas vai direto para as cortadeiras, onde são definidas as áreas a serem cortadas (a pedido do cliente) e paletizados para venda, como mostra na figura 5.

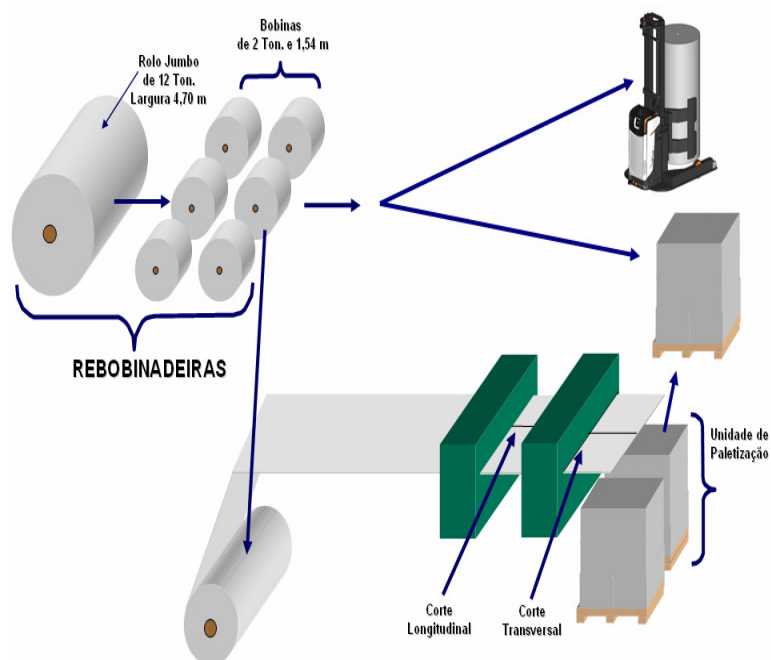


Figura 5 - Setor de acabamento do papel, onde tem a área de rebobinadeiras que diminuem o tamanho e o peso das bobinas de papel e o setor de cortes para enviar aos fornecedores dimensões variáveis de papel a pedido do cliente.

1.2 MICROSCOPIA DE FORÇA ATÔMICA (AFM)

Segundo Binnig (1982, 1986); Rohrer (1982); Christoph (1982); Quate (1986), no início da década de 1980, o físico alemão Gerd e o físico suíço Heinrich estudavam as forças que agiam entre elétrons da superfície de um metal e uma ponta metálica no laboratório da empresa IBM, em Zurique (Suíça). A pesquisa, inicialmente voltada aos estudos das interações da matéria, iria se transformar em um do aparelho de grande utilidade, o microscópio de tunelamento, que pouco depois daria origem a uma grande família de equipamentos semelhantes, todos usados para observar objetos em escala atômica.

No ano de 1986, foi desenvolvido o aparelho que revolucionou a técnica da microscopia, o AFM (Atomic Force Microscopy). Esta revolução deu-se com base à microscopia de tunelamento de elétrons (STM), ambos usam as mesmas possibilidades de resolução (imagem topográfica), como mostra a figura 6.

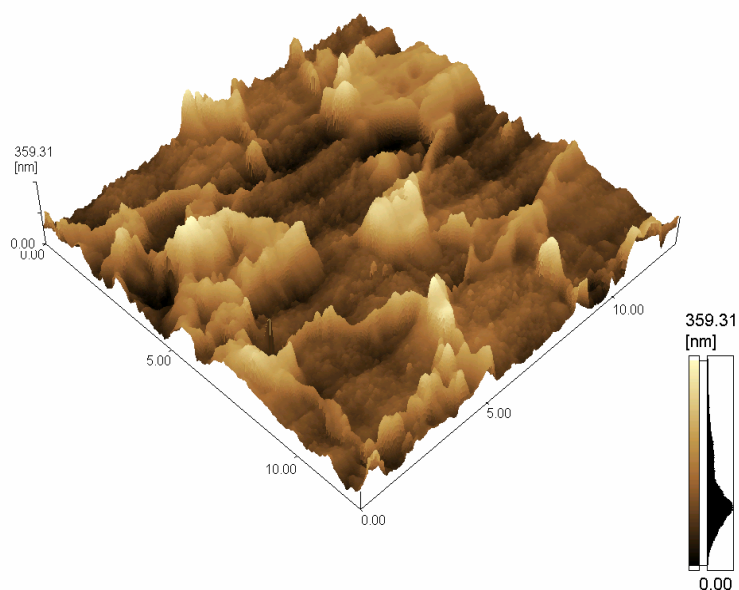


Figura 6 - Imagem topográfica tridimensional de microscopia de força atômica (AFM), de uma superfície metálica (aço).

Segundo Terrance (1995); Banerjee (1995); Magonov (1996); Whangbo (1996), com ajustes adequados após a invenção do STM, o AFM foi produzido comercialmente em 1989, com vantagens de varrer materiais eletricamente isolantes. Esta tecnologia permite caracterizar superfície em escala atômica, podendo até chegar à resolução na ordem de grandeza de Angstrom. As vantagens práticas do uso do AFM é que não precisa de técnicas para o preparo das amostras e facilita o meio biológico a ser varrido sem que sejam destrutivas as amostras.

1.2.1 Princípio de Funcionamento do AFM

Segundo George (1985); Goodman (1990); Garcia (1990); Albrecht (1989), o princípio de funcionamento do AFM consiste na varredura de uma ponta sobre uma amostra. A ponta é ligada em uma micro-viga (cantilever), promovendo vibrações, com tendência a uma força elástica conhecida, e é flexionada pelas forças de tração e repulsão entre a amostra e a ponta. O cristal piezoelétrico recebe um circuito de realimentação para que a ponta do cantilever permaneça em contato com a amostra, com uma força constante (modo de contato). A força utilizada é da ordem de grandeza das forças interatômicas (10^{-9} N), por isso esta técnica é denominada de Microscopia de Força Atômica. Enquanto o cantilever varre a amostra, apoiado sobre o piezoelétrico, o feixe de laser é incidido sobre ele e refletido para um

espelho que a leva até um detector que mede as deflexões do cantilever e envia as informações para um computador que transforma os sinais em imagens topográficas.

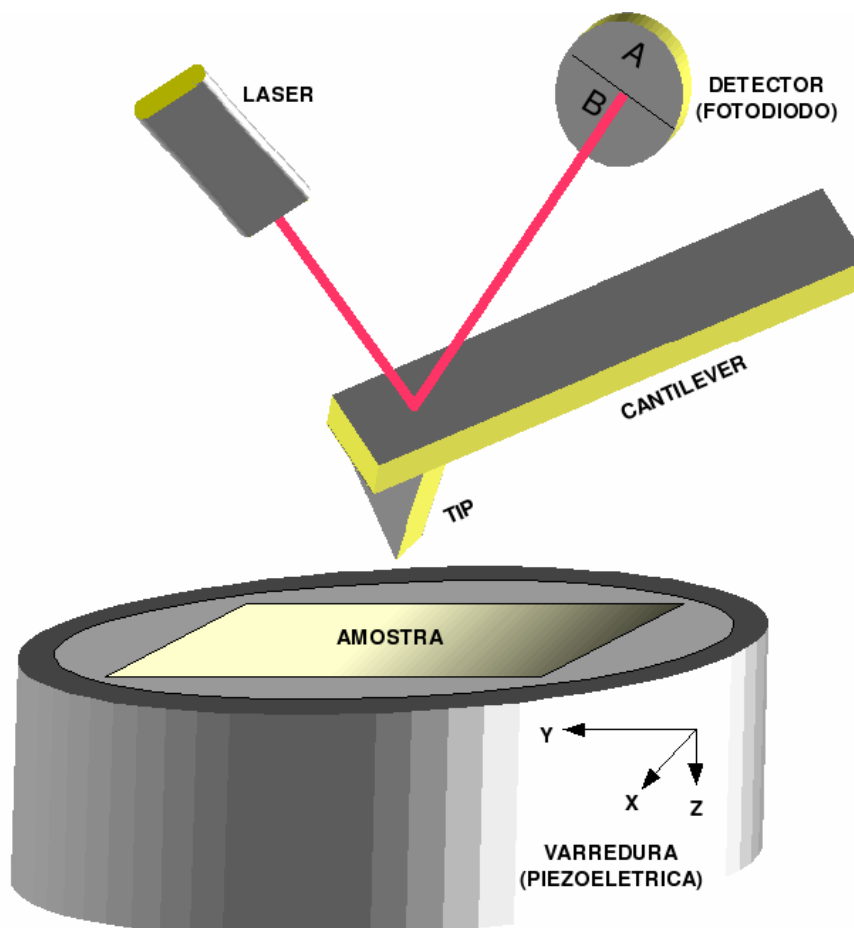


Figura 7 - Princípio básico de funcionamento da microscopia de força atômica (AFM), com posicionamento da ponta sobre a amostra para a coleta de dados.

1.3 RUGOSIDADE

Segundo Filho (1998); Assis (1998); Pessoa (1998); Sedin (2001); Rowlen (2001); Meli (2002), a rugosidade é uma propriedade superficial de grande relevância em materiais, pois apresenta relação direta com várias outras propriedades físicas. A rugosidade está associada ao grau de “aspereza” da superfície, que pode ser formada por partículas de sujeira, falhas e defeitos gerados durante sua preparação ou reações químicas que ocorreram na superfície da matéria. O grau de rugosidade da superfície pode influenciar o atrito, adesão, desgaste, atividades catalíticas, molhabilidade, propriedades óticas, área superficial,

entre outras.

A rugosidade de uma superfície pode ser considerada como resultado da presença de irregularidades. Para a grande maioria das superfícies, por mais planas que aparentam, apresentam irregularidades de diversos tipos, tanto em escala macro, micro ou nanométrica. Como exemplo a figura 8 apresentada a superfície de um fio de cabelo observado através de microscopia de força atômica.

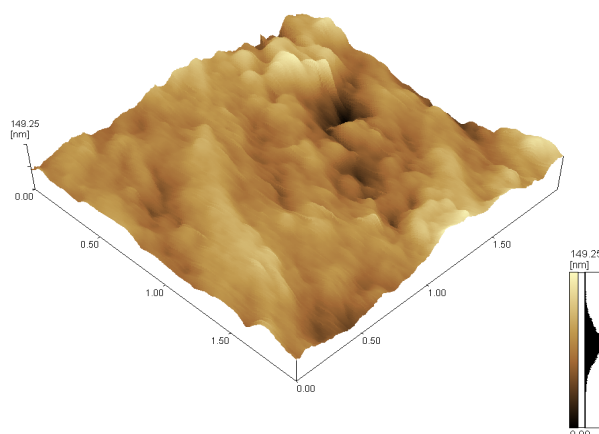


Figura 8 - Imagem obtida por microscopia de força atômica mostrando a superfície externa de um fio de cabelo

Segundo Zhao (2003), existem diferentes métodos para determinar as rugosidades de superfícies. O princípio geral de medição é o de contato, no qual uma ponta de diamante exerce uma pressão contínua sobre uma superfície em movimento. Com o deslocamento da ponta há um sentido horizontal correspondente ao perfil da superfície analisada, obtendo a medida de rugosidade da superfície.

Entretanto, medidas de rugosidade em materiais macios, como metais puros (alumínio, ouro, cobre etc.) e polímeros, não podem usar ponta de diamante, pois arranham a superfície comprometendo as medidas de rugosidade.

Segundo Silvia (2006), métodos óticos de não contato apresentam limitação em resolução lateral. Na perfilometria ótica um feixe de luz colimada é acoplado a um microscópio ótico. É feita uma varredura comparativa entre duas superfícies simultaneamente, sendo uma a referência e a segunda a amostra. Com a combinação da reflexão dos raios de luz são formadas franjas de interferências, tratadas a partir da transformada de Fourier, permitindo a representação topográfica da superfície. Outro método para determinação da rugosidade é o AFM. Com a realização de medidas com a microscopia de força atômica (AFM), causando forças

de atração e repulsão entre a ponta e a superfície, originando deflexões que constitui o mapa topográfico com alta resolução. Existem dois métodos diferentes de operação de exercer as medidas no AFM: O de contato e não-contato. O AFM por contato é aplicado uma força constante, cerca de 10^{-8}N , em toda extensão da superfície analisada. No caso do AFM sem contato, a ponta é mantida vibrando a certa distância da superfície. A força é muito pequena, da ordem de 10^{-12}N , o que permite a observação de superfície delicada ou elástica.

Segundo Yang (2004); Na (2004); Li (2004), a análise de rugosidade por AFM tem várias aplicações, desde a avaliação da qualidade de frutas, onde foi avaliada a mudança de rugosidade superficial de pêssegos sob diferentes condições de estocagens.

Segundo Saito (2000); Lovadino (2000); Kroll (2000), e colaboradores estudaram diferentes tipos de materiais para o polimento dentário, com uso de duas técnicas para medição de rugosidade, por espectrofotometria e rugosimetria. A análise de rugosidade da superfície polida foi obtida através do parâmetro de rugosidade média (R_a), que será discutido em seguida.

Segundo Sávio (2008); Meneghello (2008); Concheri (2008), um segmento que utiliza o AFM como um equipamento para determinação da rugosidade é a fabricação de lentes para microscopia. As lentes de vidros têm que ser polidas para que não ocorram distorções ópticas, pois através de polimentos tende a diminuir as rugosidades da superfície para obter melhor transparência.

Segundo Zhao (2003), o uso do equipamento AFM tem por finalidade varrer a superfície, obtendo resolução de imagens topográficas, adquirindo estágio de rugosidade que compõe a superfície. Foi o que Zhao mostrou em sua pesquisa, entendendo a regeneração de ossos (osteoblastos). O uso da técnica foi utilizado pela medida de rugosidade em AFM, após adquirir imagens topográficas do osso antes e depois da fratura, obtendo os resultados através do parâmetro de rugosidade média (R_a).

Segundo Whitehouse (1994), a determinação quantitativa da rugosidade em superfícies pode ser realizada de diversas formas. Para exercer medições dos picos e vales (imperfeições), podem-se utilizar normas internacionais com referência aos parâmetros de rugosidades.

As normas que compõem estes parâmetros são: JIS (Japanese Industrial Standard), ASME (American Society of Mechanical Engineers), ISO (International

Organization for Standardization) e outras com referência a cada medida de parâmetros de rugosidades.

Os principais parâmetros utilizados para quantificar a rugosidade são: 1) rugosidade média R_a , (Average Roughness), 2) rugosidade parcial R_z , (Roughness Partial), 3) rugosidade industrial padrão R_{zjjs} (Roughness Japanese Industrial Standard for R_z), 4) rugosidade média quadrática R_q ou R_{rms} (Roughness Root Mean Squared), 5) rugosidade máxima de pico R_p (Roughness Maximum Peak Height) e 6) rugosidade máxima de vale R_v (Roughness Maximum Valley Depth). (ASM, 2003)

Segundo Palma (2006), a quantificação de medida de rugosidade pode ser feita pelo método da linha média (l_m). A linha média tem como base a direção do perfil rugoso, ou seja, entre as áreas dos picos A_1 e A_2 acima da linha média, define-se que área A_3 abaixo da linha média é igual à soma das áreas A_1 e A_2 . A linha média é definida paralelamente à direção geral do perfil dentro de sua escala de medição, relacionando a soma das áreas superiores igual à soma das áreas inferiores.

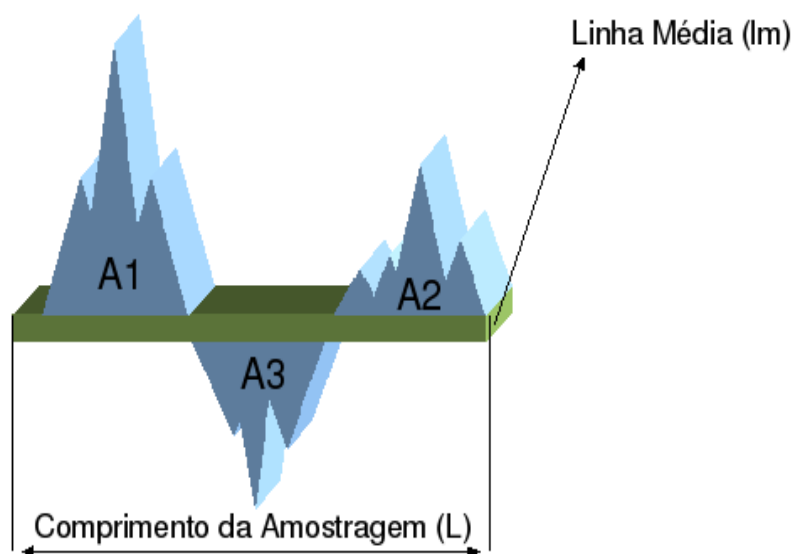


Figura 9 - Mostra as áreas A_1 e A_2 , que se deve ser igual à área A_3 , que define onde a linha média se traça em relação ao comprimento da amostragem. Definindo linha média (l_m).

1.3.1 Rugosidade Média (R_a)

Segundo Rossi (2003), é a medida aritmética dos valores absolutos das ordenadas (altura dos picos), em relação à linha média, dentro do seu percurso de medição (l_m). A figura 10 mostra a rugosidade média, representando a soma dos

picos acima e os vales abaixo da linha média, dividido pelos números de picos, que são encontrados na direção do perfil da linha média (l_m).

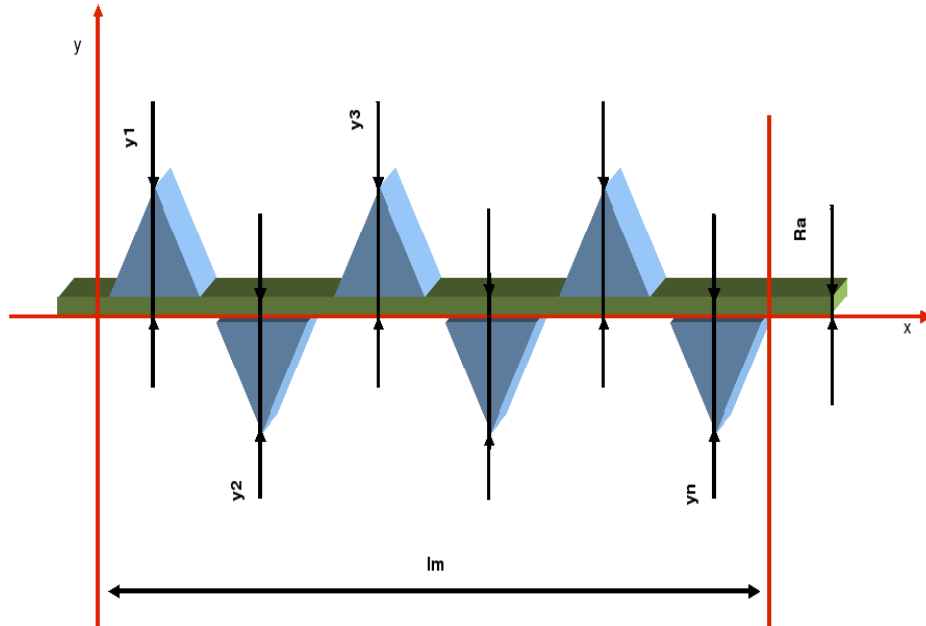


Figura 10 - Representa a rugosidade média R_a , onde $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$ são os valores dos picos acima e abaixo da linha média, à distância entre o topo do pico e a base da superfície, a partir de cada medida é representado pela letra Y .

A equação que define o parâmetro R_a é representada por:

$$R_a = \frac{y_1 + y_2 + y_3 \dots y_n}{n} \rightarrow EQ.1$$

Equação 1 - Onde $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$ é a soma de todos os picos medidos em relação ao sentido da linha média (l_m) e são divididos por n , ou seja, pela quantidade de picos encontrados acima e abaixo do sentido l_m .

1.3.2 Rugosidade Parcial (R_z)

Segundo Bindell (1993), a rugosidade parcial é a relação entre o topo do pico mais elevado acima da linha média e o vale mais elevado abaixo da linha média. A soma dos dois picos define o parâmetro R_z .

A figura 11 representa a rugosidade parcial R_z , onde são separados o maior pico acima e abaixo da linha média. A soma entre a distância do R_p (Roughness Maximum Peak Height) e R_v (Roughness Maximum Valley Depth) denomina-se a rugosidade parcial R_z .

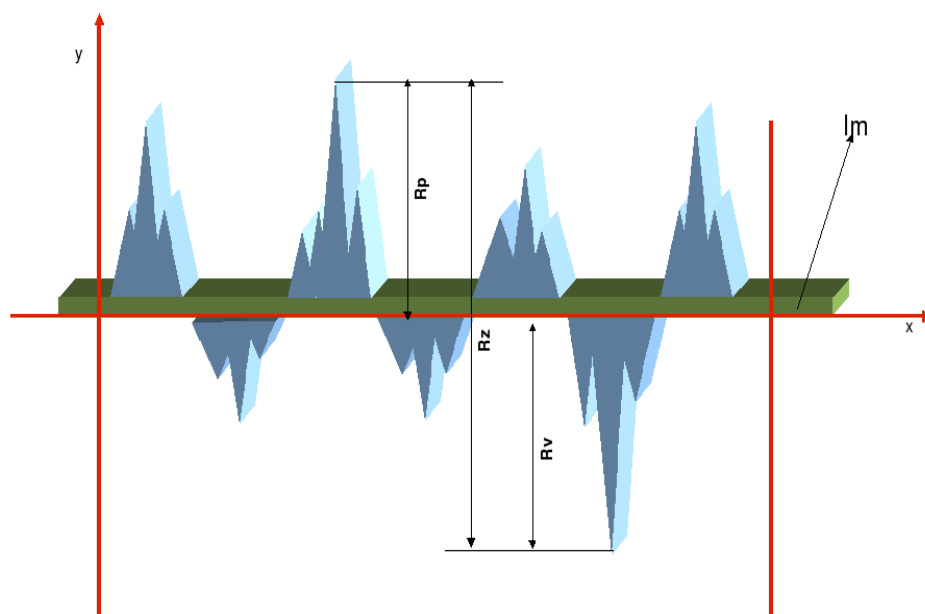


Figura 11 - Representa a soma entre a distância do R_p e R_v , que são definidos entre as medidas do topo do pico mais elevado e o topo da vale mais elevado, definindo a rugosidade parcial R_z .

1.3.3 Rugosidade Industrial Padrão (R_{ZJIS})

R_{ZJIS} é o parâmetro de rugosidade que soma os valores médios absolutos das alturas de cinco picos mais altos (Y_p) acima da linha média, e os cinco valores absolutos dos vales, abaixo da linha média (Y_v), figura 12. O parâmetro R_{ZJIS} corresponde à medida do parâmetro R_z , com a diferença de que mais valores são medidos, para definir com mais precisão a rugosidade. R_z corresponde a medidas de um pico mais elevado acima da linha média e um pico elevado abaixo da linha média. R_{ZJIS} correspondem à norma JIS (Japanese Industrial Standard), com aprimoramento das medidas de cinco maiores picos acima da linha da média e cinco picos abaixo da linha média.

São definidos os cinco maiores picos acima da linha média (Y_{p1} , Y_{p2} , Y_{p3} , Y_{p4} e Y_{p5}), e cinco maiores vales abaixo da linha média (Y_{v1} , Y_{v2} , Y_{v3} , Y_{v4} e Y_{v5}). Portanto o Y representa o sentido da medida de cada pico elevado, ou seja, na direção do vale mais profundo e do maior pico acima da linha média. A soma entre R_p e R_v , são definidos pela soma da distância do Y_p em relação ao Y_v . Divide-se por cinco para determinar o parâmetro R_{ZJIS} .

A equação para definir o parâmetro R_{ZJIS} é representado por:

$$R_{ZJIS} = \frac{(Y_{p1} + Y_{p2} + Y_{p3} + Y_{p4} + Y_{p5}) + (Y_{v1} + Y_{v2} + Y_{v3} + Y_{v4} + Y_{v5})}{5} \rightarrow EQ2$$

Equação 2 - Parâmetro de rugosidade R_{ZJIS} .

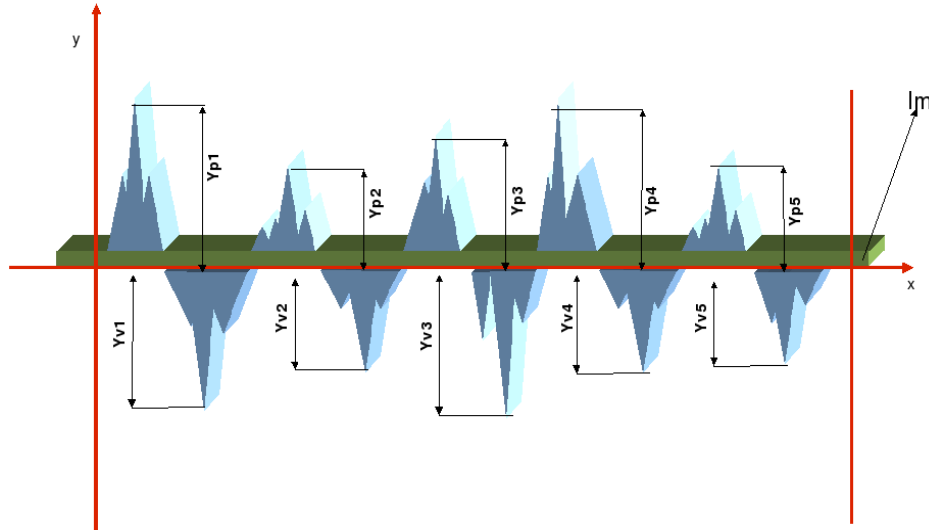


Figura 12 - Representa a soma entre as distâncias dos cinco picos acima (Y_{pn}) e abaixo (Y_{vn}) da linha média, portanto a soma entre as variações dos conjuntos elevados se divide por 5, denominado o parâmetro R_{ZJIS} .

1.3.4 Rugosidade Média Quadrática (R_q)

É um parâmetro correspondente ao R_a , ou seja, é o desvio médio quadrático da rugosidade média R_a . R_q é definido em relação a R_a , sempre está acima da linha média, pois é definido o parâmetro R_q depois que se define a rugosidade média (R_a). Podemos atribuir R_q como parâmetro R_{rms} (Root Mean Square), pois este parâmetro é usado em países de língua inglesa. (ASTM F1811, 1997)

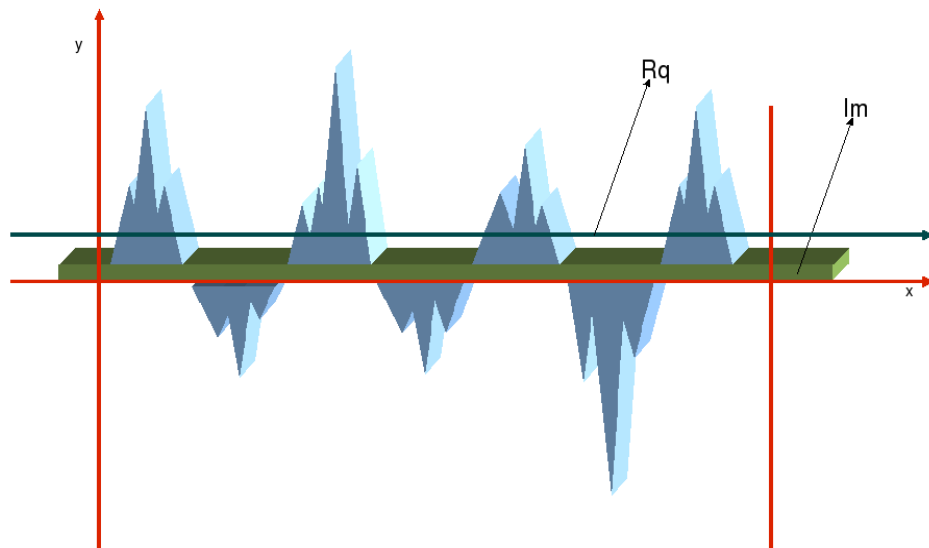


Figura 13 - Representa o desvio médio (R_q), em relação à linha média, ou seja, é linha que traça em relação ao desvio médio quadrático dos valores obtido pelo parâmetro R_a . A linha é situada acima da linha média, que se define o parâmetro R_q .

1.3.5 Rugosidade Máxima do Pico (R_p)

Corresponde ao pico mais elevado de todas as medidas de rugosidade, situado acima da linha média. Ao medir o parâmetro R_p , conclui-se que a direção da linha média encontra-se o pico mais elevado. O parâmetro R_p é pouco usado para dados estatísticos, pois se trata de uma medida de um pico mais elevado, não demonstra um valor de medida que explica a rugosidade de um perfil. (ISO 4287, 1997)

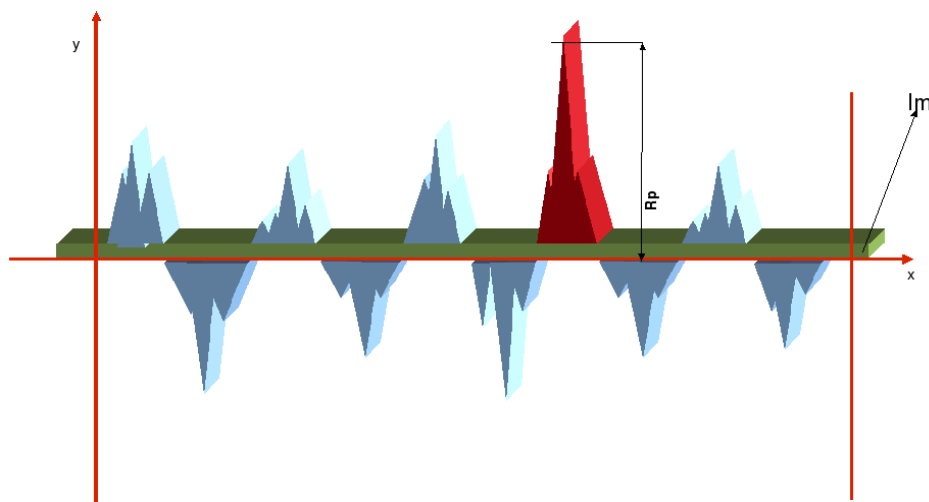


Figura 14 - Representa o parâmetro R_p , ou seja, é a medida entre o topo do pico mais elevado em relação à linha média.

1.3.6 Rugosidade Máxima do Vale (R_v)

Corresponde a máxima profundidade de todas as medidas de rugosidade, situado abaixo da linha média. É definida a profundidade mais elevada do vale (R_v) em relação à linha média. O parâmetro R_v é pouco usado em medidas estatísticas, ou seja, definido por único maior pico (vale) mais elevado abaixo da linha média. (ASME/B46, 1995)

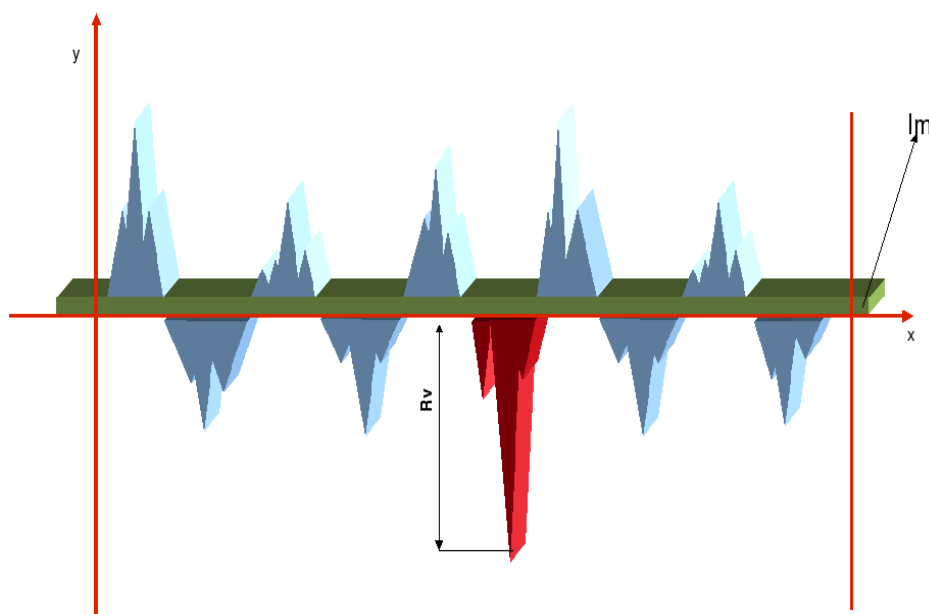


Figura 15 - Representa o parâmetro R_v , ou seja, é medida da distância entre o maior topo do vale (R_v) em relação à linha média.

Segundo Moreau (2003); Fu (2002); Orji (2002) empregam-se os parâmetros de rugosidade média R_a e o parâmetro de rugosidade quadrático R_q (R_{rms}), no estudo feito por Moreau, obteve as medidas através de filmes metálicos para catálise do crescimento de nanotubos. Com a diferença de fases de recozimento conduziu o uso de imagens topográficas obtidas pela técnica AFM. O autor também usou o parâmetro de rugosidade R_p e R_v , identificando por rugosidade pico e vale, sendo que R_p é a medida do pico mais elevado e R_v é a medida da profundidade (vale), ou seja, mais elevado em relação à linha média de uma imagem topográfica.

O parâmetro R_q está cada vez mais utilizado em estudos, que segundo Vorburger (2002) pode ser aplicado com entendimento ao uso de cada instrumento, ou seja, determinar o estado da superfície através do parâmetro R_q (rms).

1.4 O PROBLEMA DA MARMORIZAÇÃO

Segundo Ciolkosz (1990); Dobos (1990); Robert (1990); Johansson (1999), a marmorização é um problema complexo, que envolve o inter-relacionamento de uma série de variáveis, sendo que as causas mais frequentes incluem a inadequação da tinta ao papel e a absorção irregular do papel. Quando envolve o papel, a causa mais provável deve-se à má formação do papel-base, principalmente se for revestida a lâmina e supercalandrado (item 1.1.2 Fabricação de Papel).

Segundo Armel (1998); Wise (1998), a aparência não uniforme do produto impresso, caracterizada por diferenças de densidade ou de cor, causada por variações de espessura do filme de tinta, variações de absorção ou receptividade irregular da tinta pelo papel.

Definimos como nível 1 o papel cartão já impresso que não apresenta desvios de cores em sua superfície, ou seja, que não aparenta efeitos de tonalidades (desvio de tonalidades claras e escuras em uma única cor). Quando o papel cartão demonstra tonalidades diferentes em sua superfície, definimos como papel marmorizado, através de padrões visuais de níveis 1, 2, 3, 4 e nível 5 representado na figura 16.

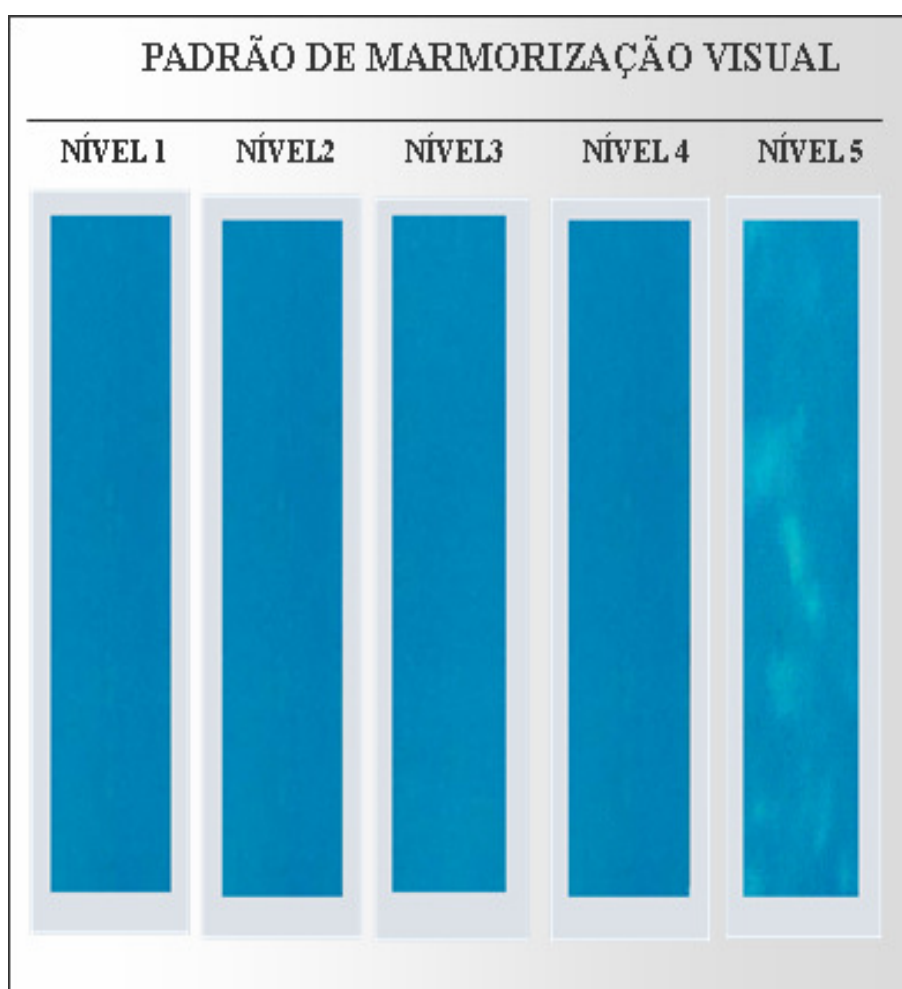


Figura 16 – Padrão de marmorização visual, para comparar os resultados obtidos no aparelho que faz a impressão do papel (tamanho da amostra 20x5cm analisado no “Prufbau MZ II Multipurpose Printability Testing Instrument”). As análises dos testes visuais compara os níveis 1, 2, 3, 4 e 5. Os níveis de 1 a 4 o papel é liberado para venda e o nível 5 o lote é reprovado.

Segundo Sadovnikov (2005), aparência manchada, martelada ou marmorizada do filme de tinta impresso, cujo padrão ocorre ao acaso, sem simetria,

em decorrência da absorção irregular da tinta pelo suporte, ou por excesso de emulsão de água em tinta durante o processo de impressão. A marmorização pode ser observada na figura 17.

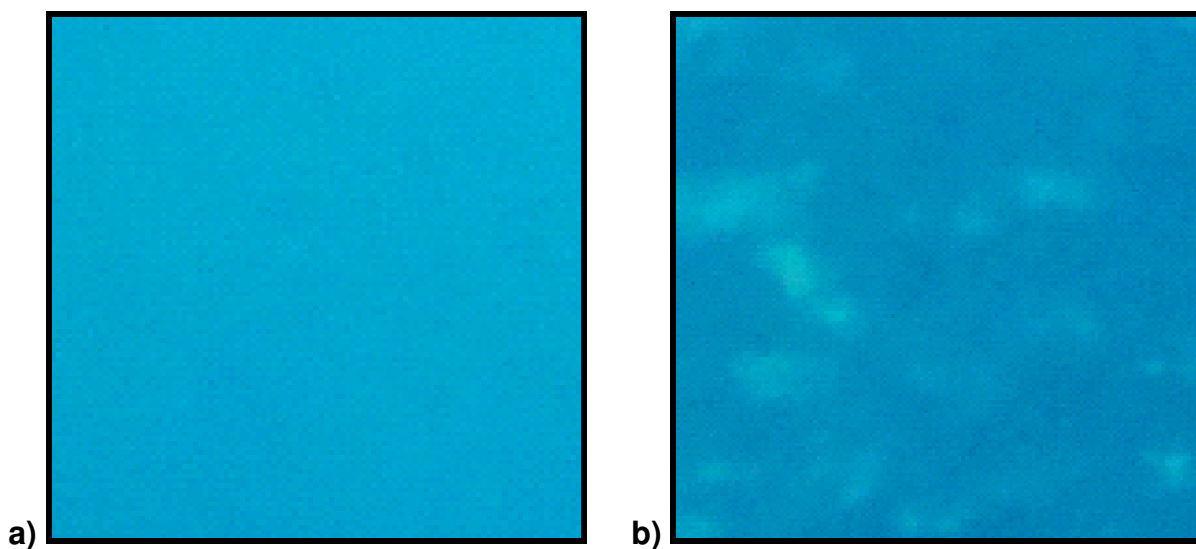


Figura 17 - (a) superfície sem o efeito de marmorização, classificado por nível 1 e (b) representa a superfície do papel cartão marmorizado, classificado por nível 5.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar a utilização da técnica de microscopia de força atômica para caracterizar a superfície de papel cartão.

Como sistema inicial foi realizado uma análise comparativa entre superfície de papel cartão nível 1 (não marmorizado), e papel cartão nível 5 (marmorizado). A análise baseou-se na obtenção de imagens topográficas com ênfase na quantificação da rugosidade, utilizando-se diversos parâmetros descritos na literatura.

3 MÉTODO

As imagens topográficas do papel cartão nível 1 e nível 5 foram obtidos através da utilização do microscópio de força atômica marca Shimadzu (SPM 9600) no modo de contato. As imagens foram obtidas e analisadas utilizando o software que compõe o sistema do aparelho Shimadzu.

Após a produção do papel cartão, coleta-se amostras de aproximadamente 2m². O papel é cortado em folhas do tamanho A4 para iniciar as análises de qualidade do papel cartão. Com 50% das folhas A4, os papéis são submetidos ao corte de 20x5 cm para realizar o processo de impressão.

Após o papel cartão de 20x5cm serem impressos em uma impressora (Prufbau MZ II Multipurpose Printability Testing Instrument) que simula a impressão do setor gráfico. O papel é submetido à análise visual, ou seja, com um padrão de nível 1, 2, 3, 4 e 5 para pontuar o índice de marmorização.

Através de vários lotes de papel cartão nível 1 e nível 5, foram realizadas as análises no microscópio de força atômica. A varredura para todas as amostras de papel cartão ocorreu em área de 100x100µm.

Através das imagens topográficas, foram avaliados os seguintes parâmetros de rugosidades:

Rugosidade média R_a , (Average Roughness), rugosidade parcial R_z , (Roughness Partial), rugosidade industrial padrão R_{zjis} (Roughness Japanese Industrial Standard for R_z), rugosidade média quadrática R_q ou R_{rms} (Roughness Root Mean Squared), rugosidade máxima de pico R_p (Roughness Maximum Peak Height) e rugosidade máxima de vale R_v (Roughness Maximum Valley Depth).

Através dos seis parâmetros de rugosidade, foi escolhido o parâmetro R_{zjis} (Roughness Japanese Industrial Standard for R_z), por apresentar consistência na coleta dos dados no decorrer da varredura das amostras.

Os dados de ambos os níveis (1 e 5), foram tratados através do software MINITAB 15 com a análise estatística One-way ANOVA, para identificar se há diferença nos papéis cartões marmorizados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentadas imagens selecionadas, obtidas neste trabalho, para a superfície de papel cartão e papel cartão marmorizado. Das figuras 18 a 27, são apresentadas amostras de papel cartão não marmorizado nível 1 que correspondem às imagens topográficas a, c, e, g, i, k, m, o, q e s, e amostras de papel cartão marmorizado nível 5 correspondem às imagens topográficas b, d, f, h, j, l, n, p, r e t.

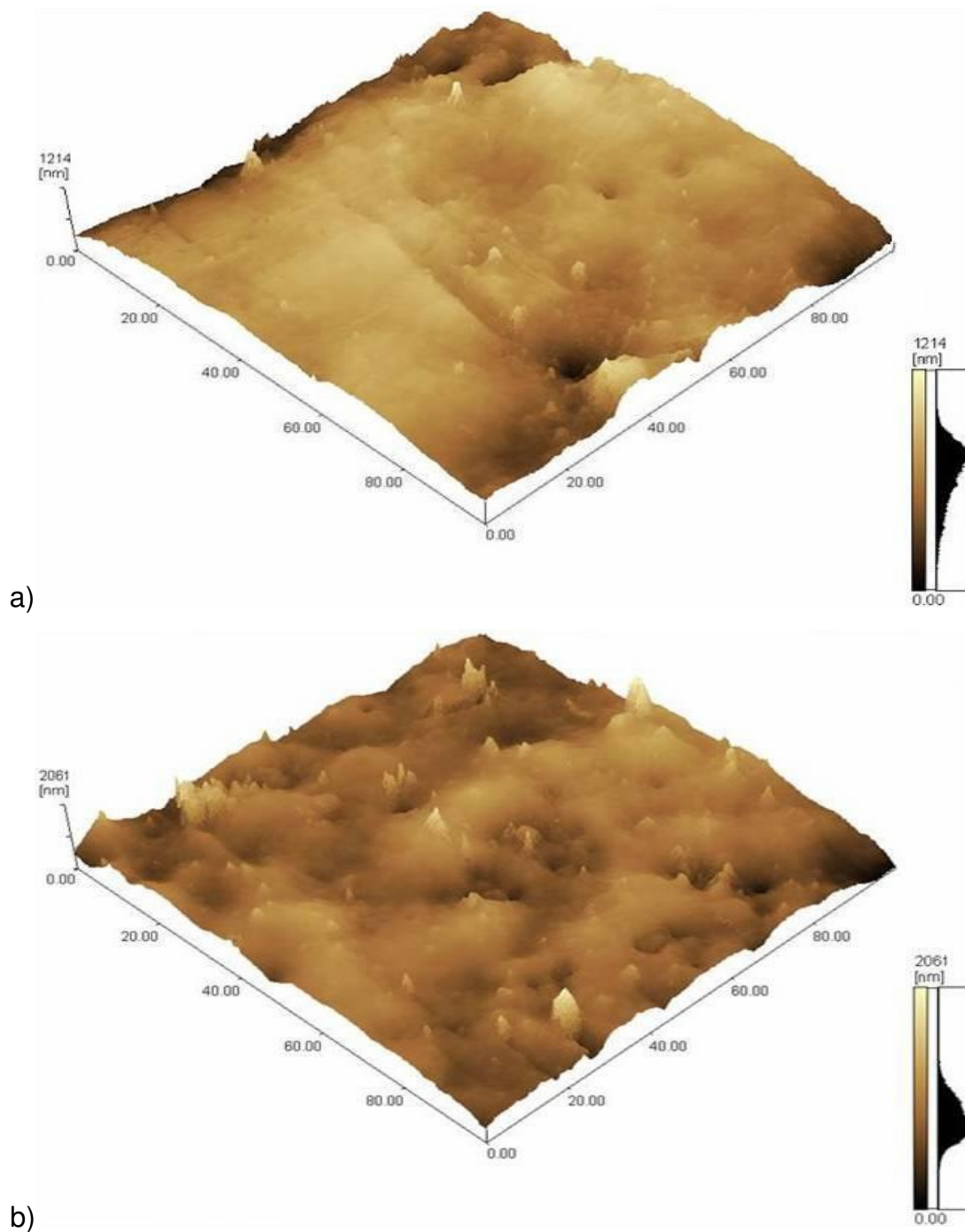


Figura 18 - Imagens topográficas obtida por microscopia de força atômica (modo contato) para papel cartão nível 1 (a), com rugosidade R_z de 1214 nm e para papel cartão nível 5 (b), com rugosidade R_z de 2061 nm.

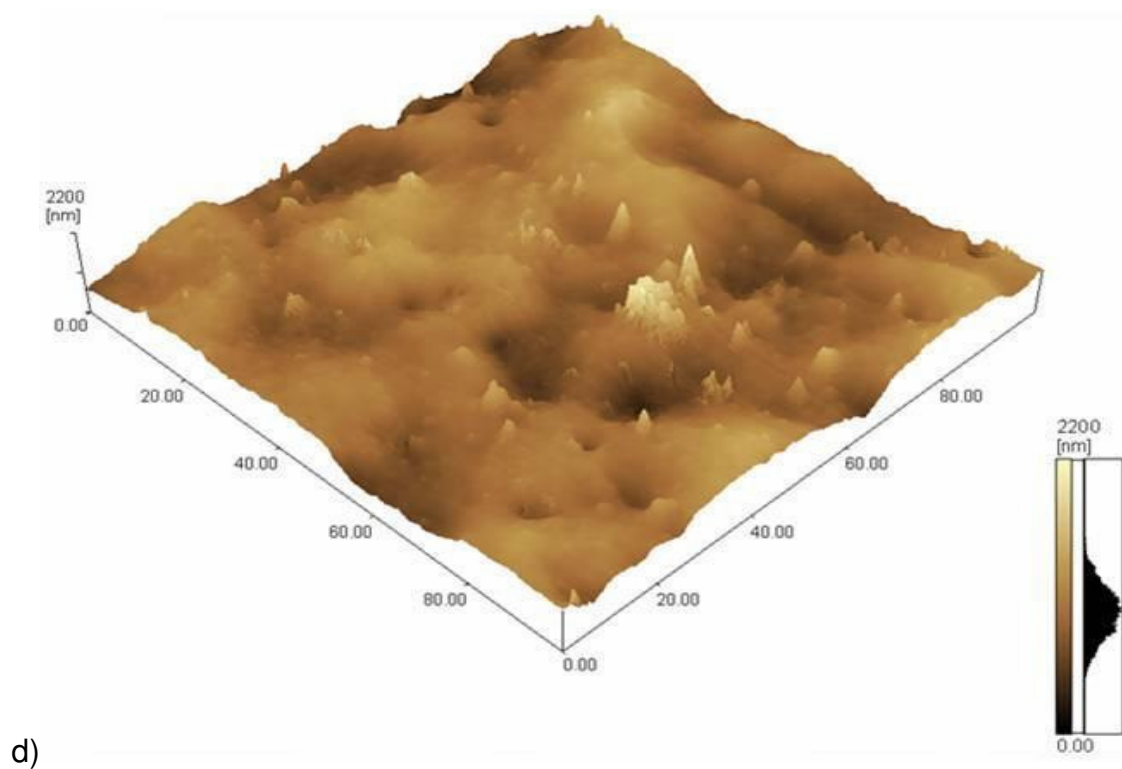
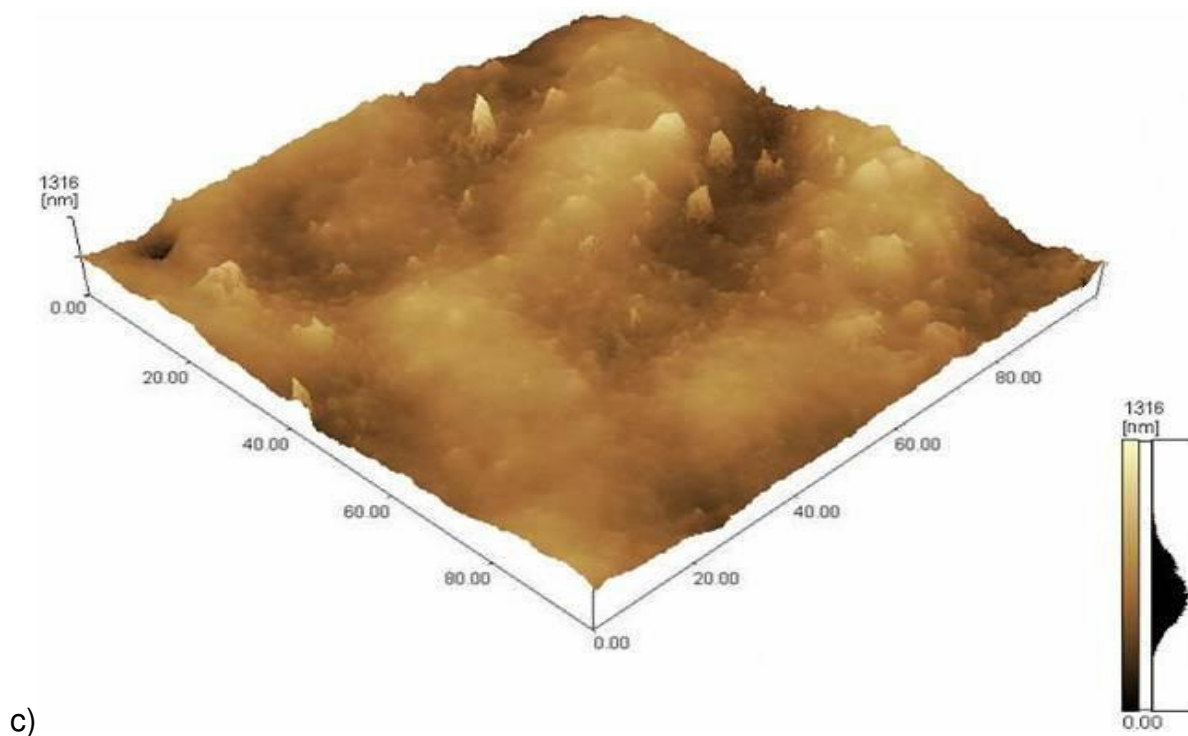


Figura 19 - Imagens topográficas obtida por microscopia de força atômica (modo contato) para papel cartão nível 1 (c), com rugosidade R_z de 1316 nm e para papel cartão nível 5 (d), com rugosidade R_z de 2200 nm.

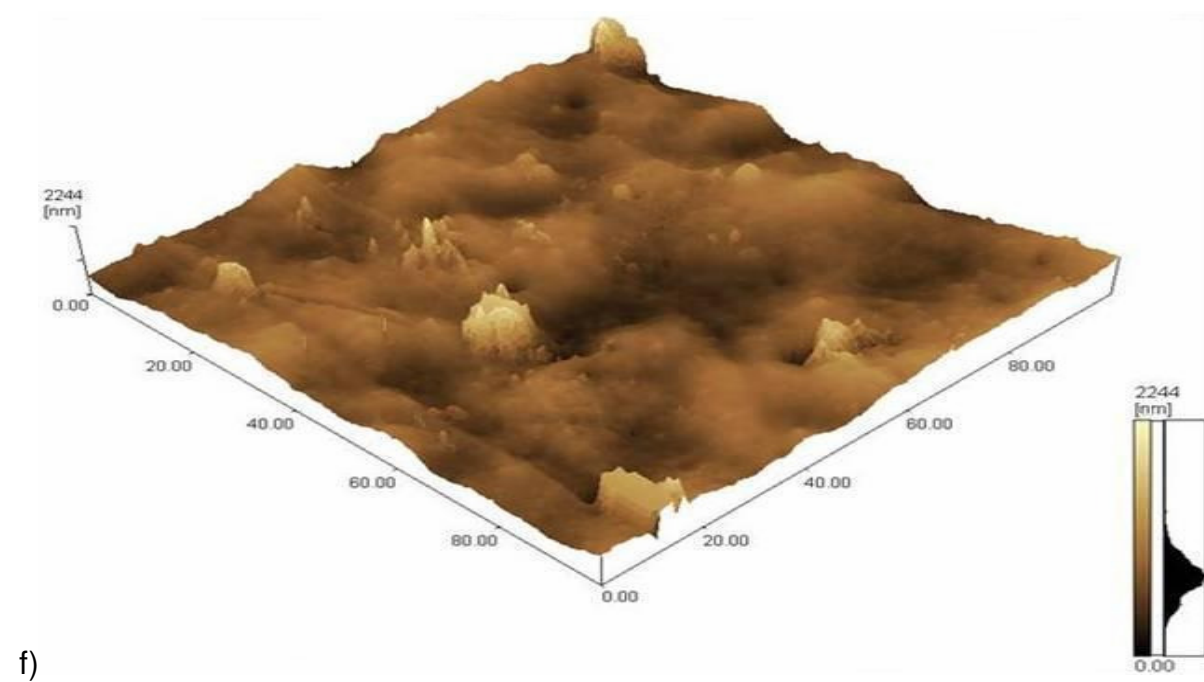
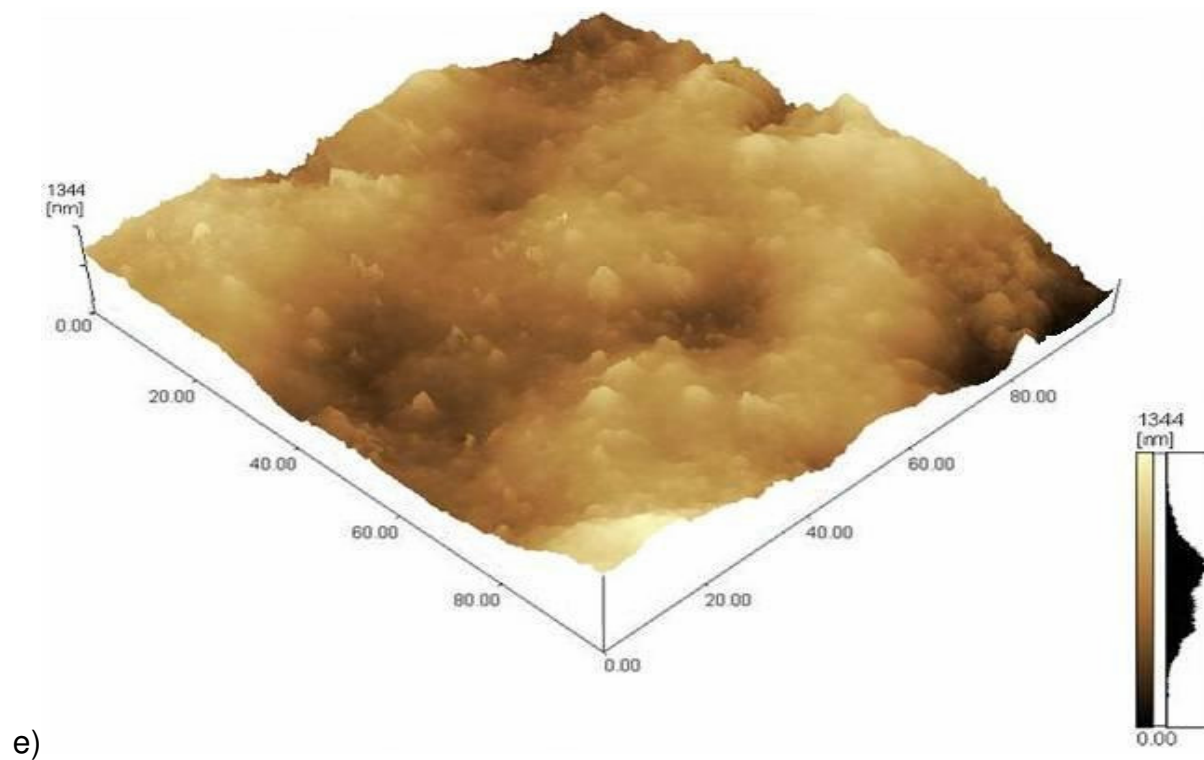


Figura 20 - Imagens topográficas obtida por microscopia de força atômica (modo contato) para papel cartão nível 1 (e), com rugosidade R_z de 1344 nm e para papel cartão nível 5 (f), com rugosidade R_z de 2244 nm.

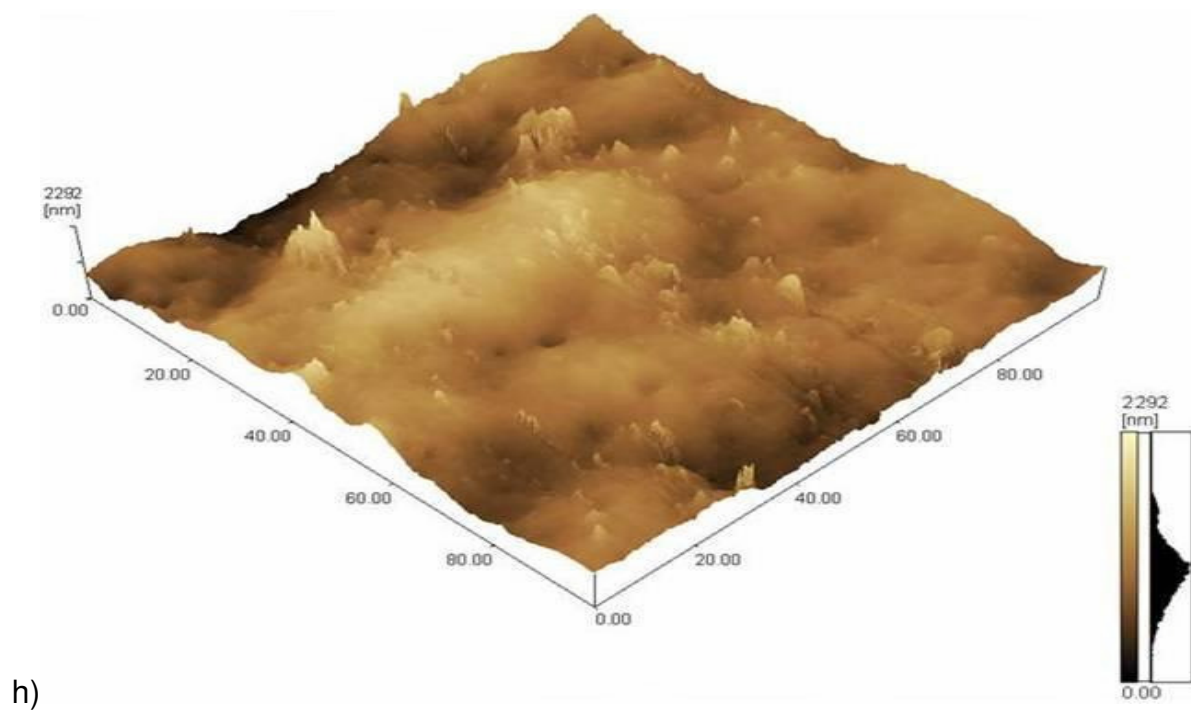
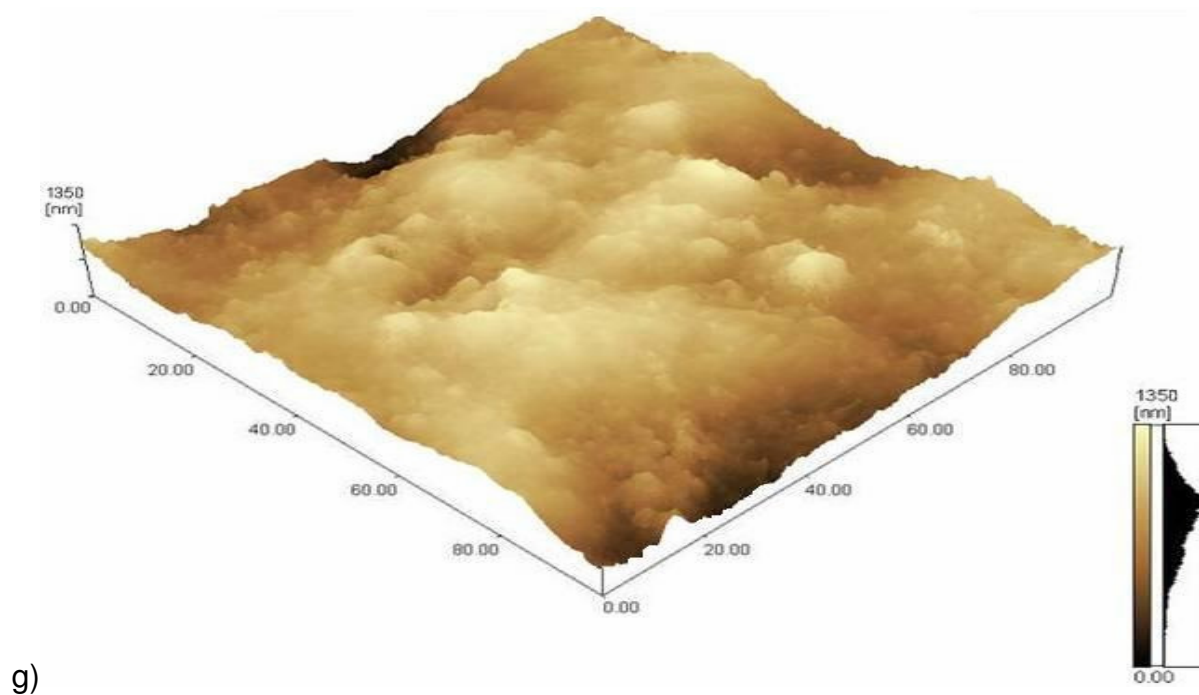


Figura 21 - Imagens topográficas obtida por microscopia de força atômica (modo contato) para papel cartão nível 1 (g), com rugosidade R_z de 1350 nm e para papel cartão nível 5 (h), com rugosidade R_z de 2292 nm.

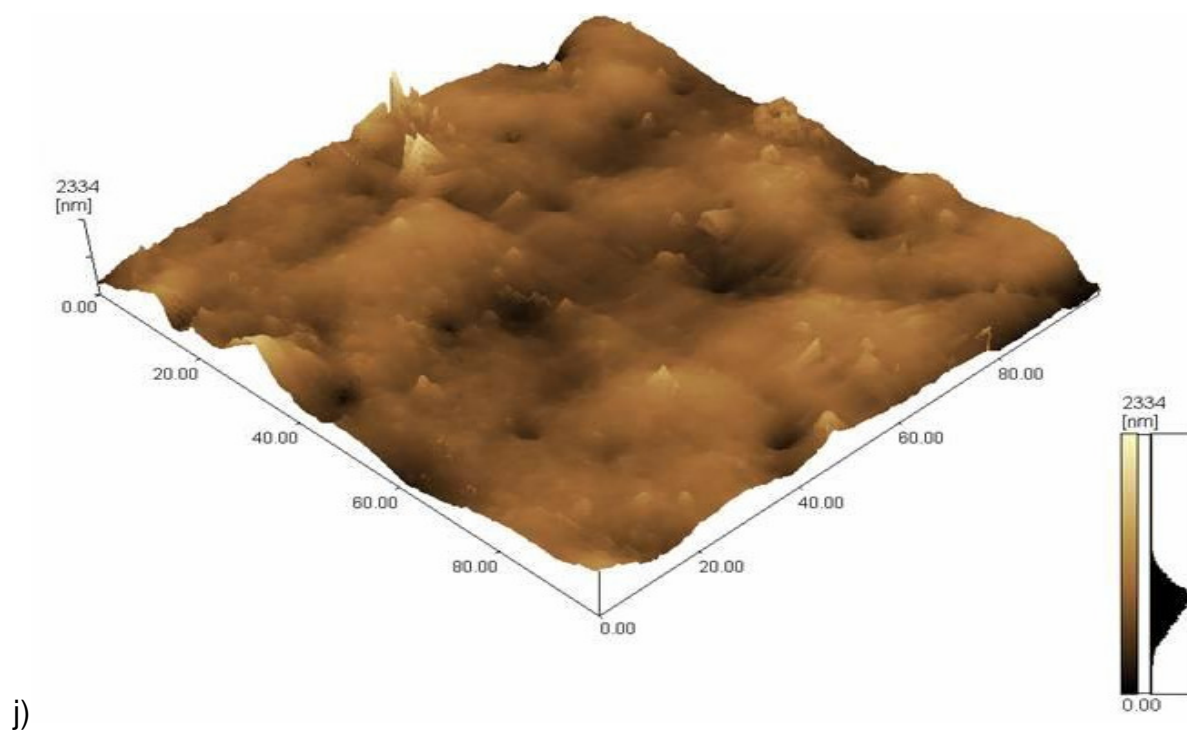
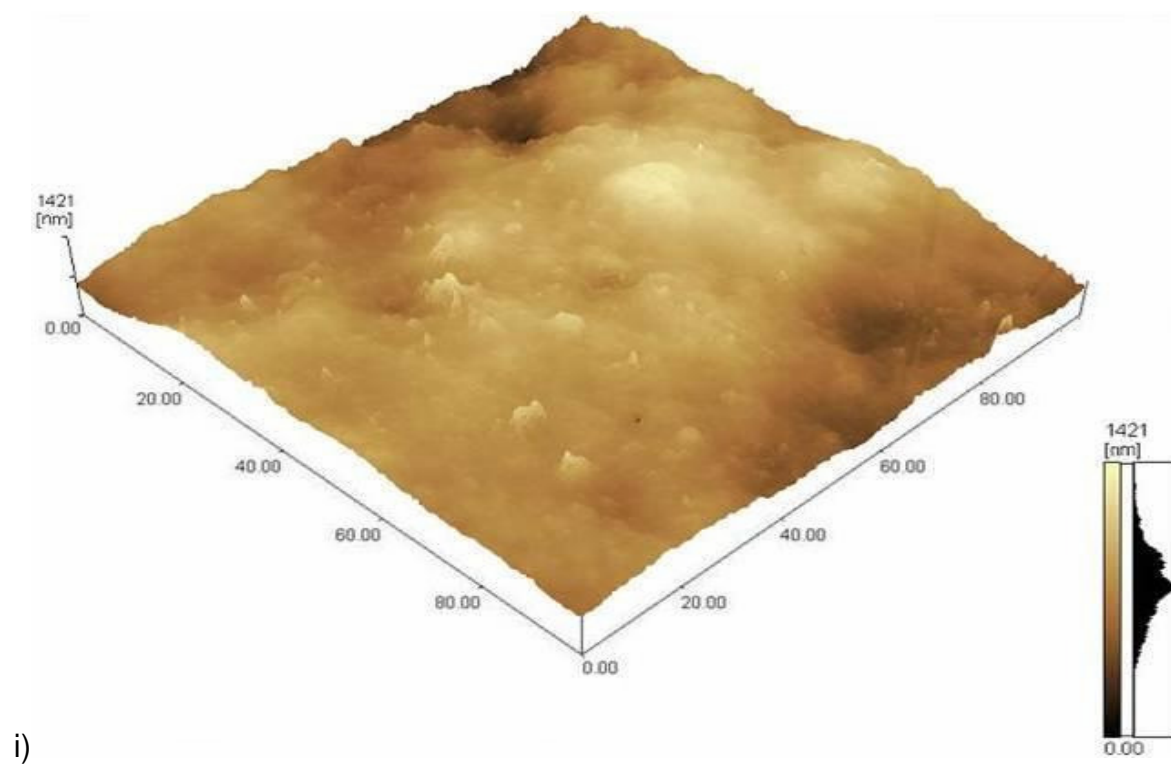


Figura 22 - Imagens topográficas obtida por microscopia de força atômica (modo contato) para papel cartão nível 1 (i), com rugosidade R_z de 1421 nm e para papel cartão nível 5 (j), com rugosidade R_z de 2334 nm.

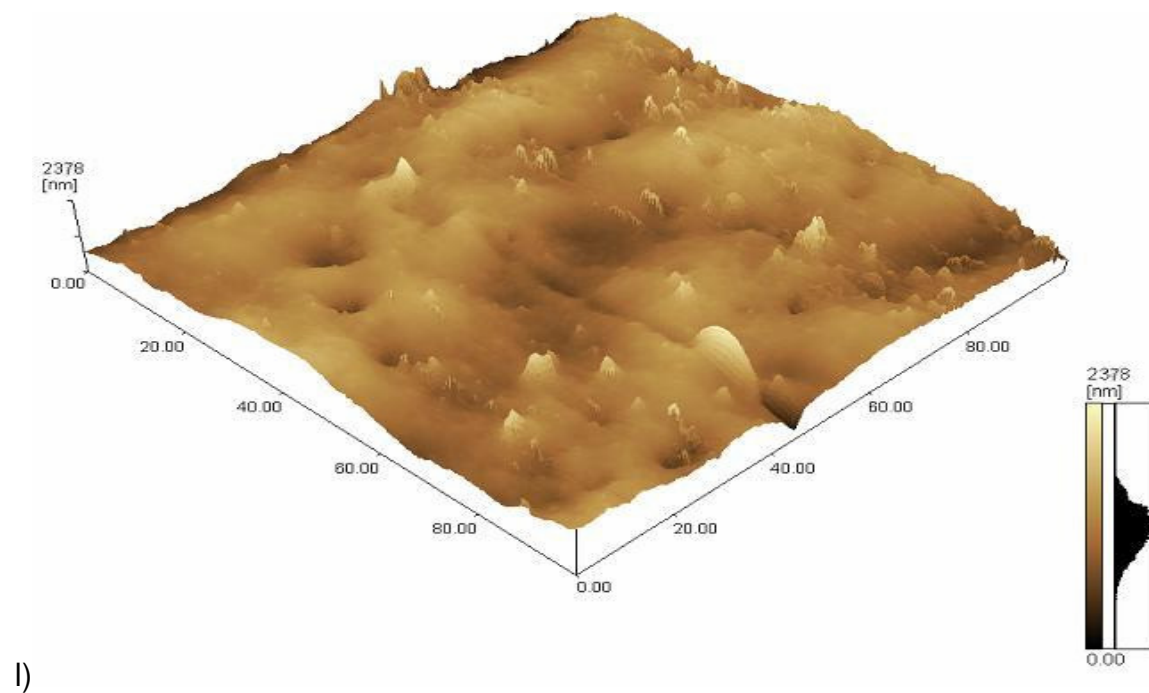
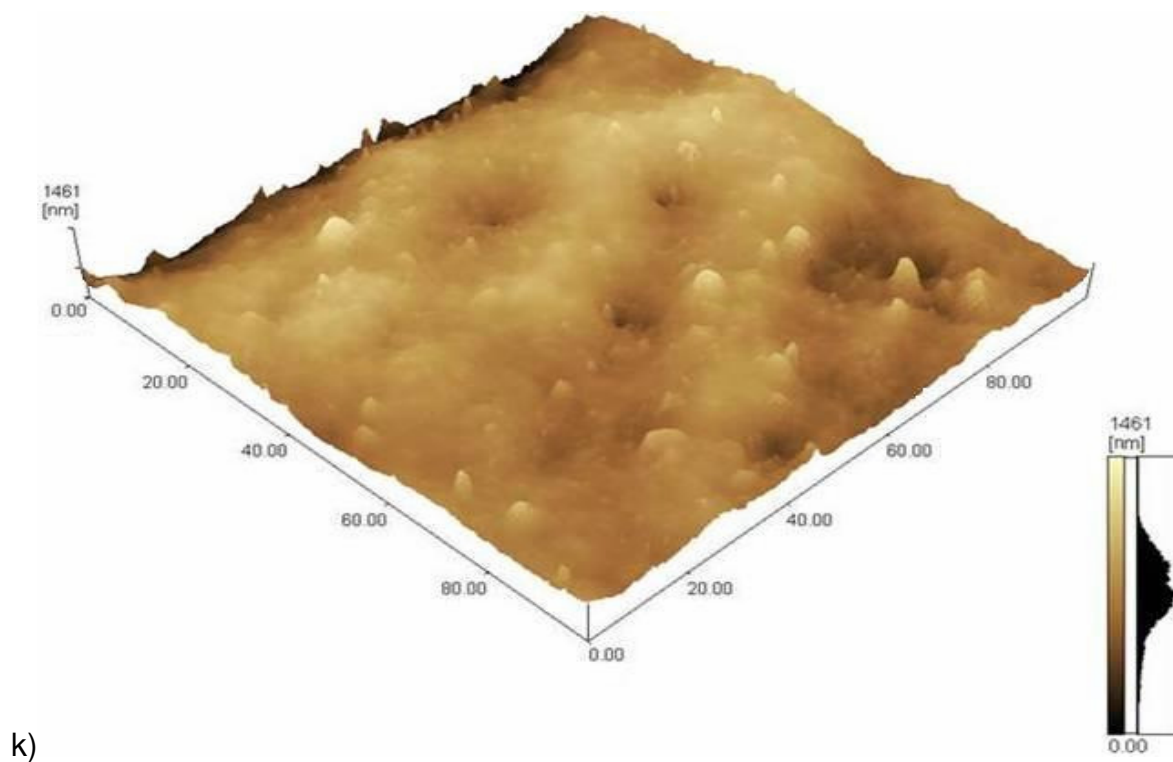


Figura 23 - Imagens topográficas obtida por microscopia de força atômica (modo contato) para papel cartão nível 1 (k), com rugosidade R_z de 1461 nm e para papel cartão nível 5 (l), com rugosidade R_z de 2378 nm.

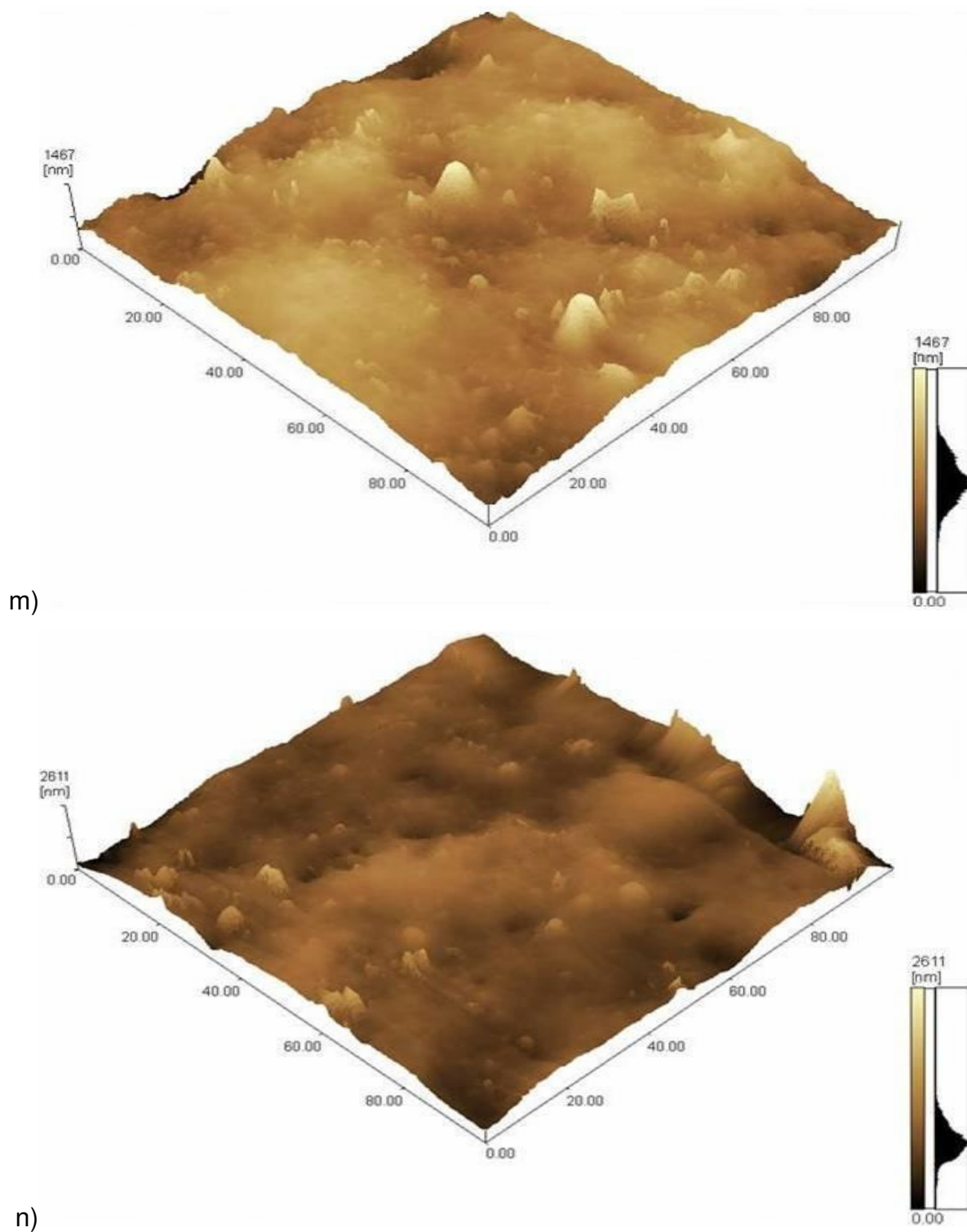


Figura 24 - Imagens topográficas obtida por microscopia de força atômica (modo contato) para papel cartão nível 1 (m), com rugosidade R_z de 1467 nm e para papel cartão nível 5 (n), com rugosidade R_z de 2611 nm.

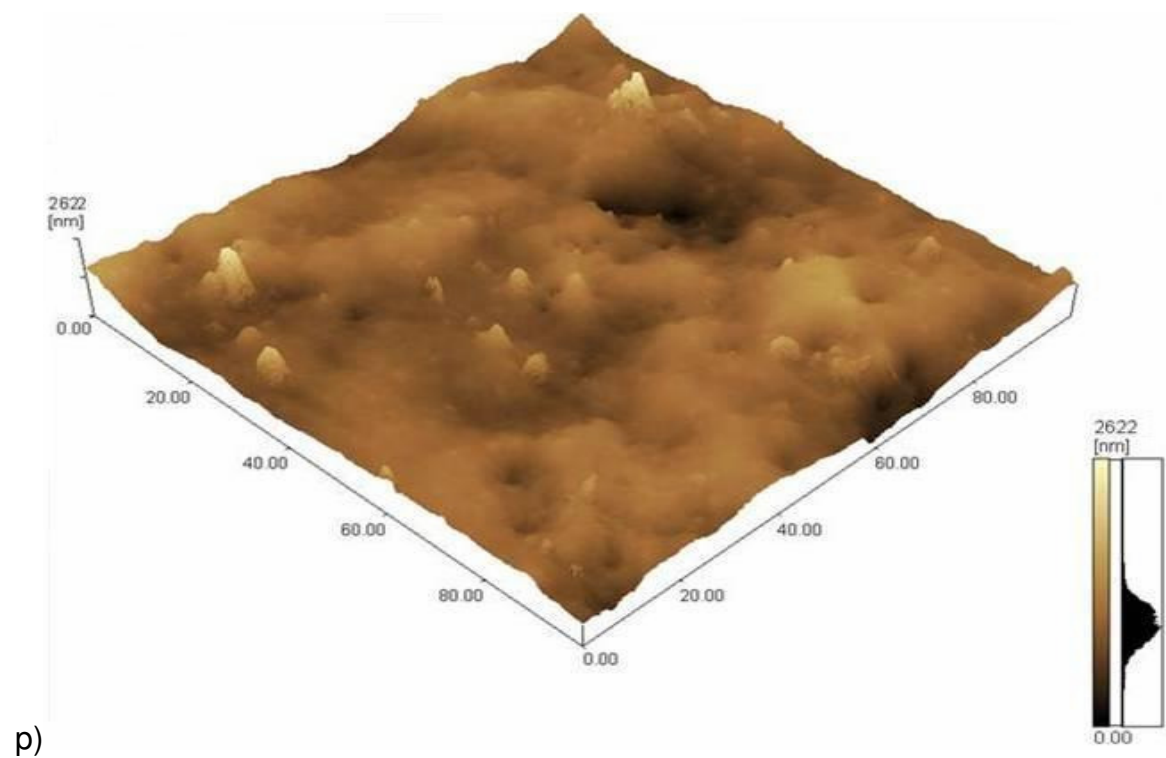
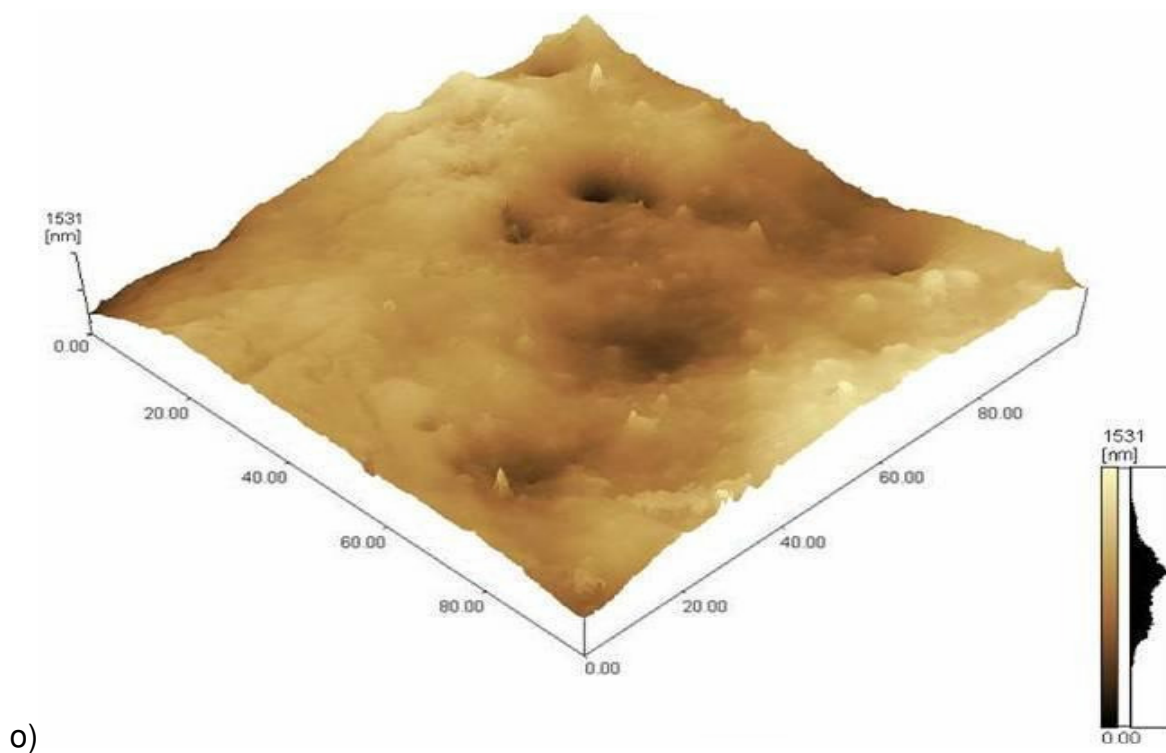


Figura 25 - Imagens topográficas obtida por microscopia de força atômica (modo contato) para papel cartão nível 1 (o), com rugosidade R_z de 1531 nm e para papel cartão nível 5 (p), com rugosidade R_z de 2622 nm.

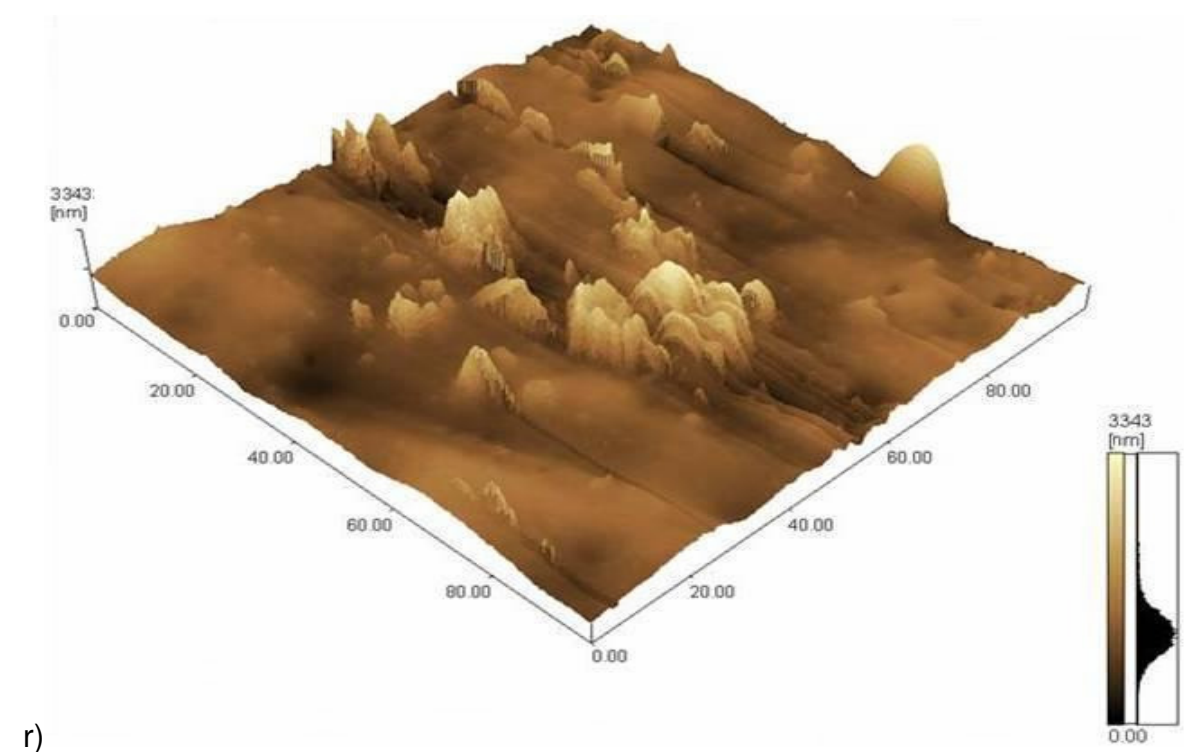
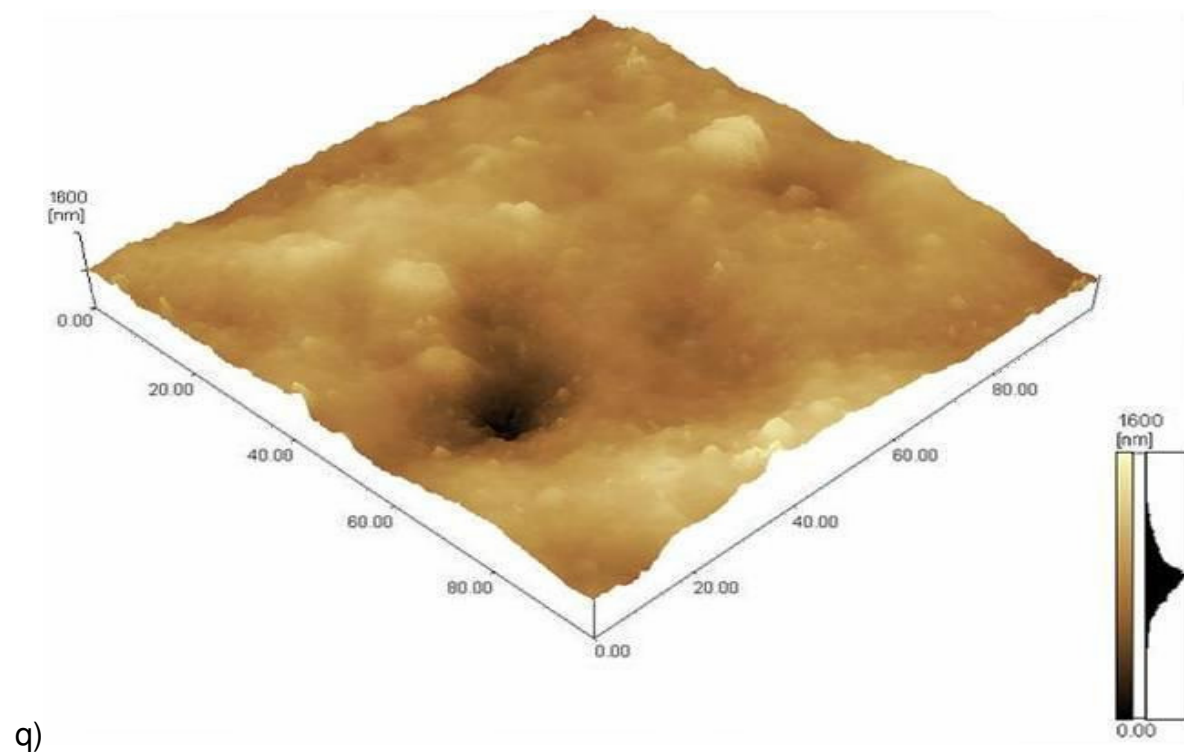


Figura 26 - Imagens topográficas obtida por microscopia de força atômica (modo contato) para papel cartão nível 1 (q), com rugosidade R_z de 1600 nm e para papel cartão nível 5 (r), com rugosidade R_z de 3343 nm.

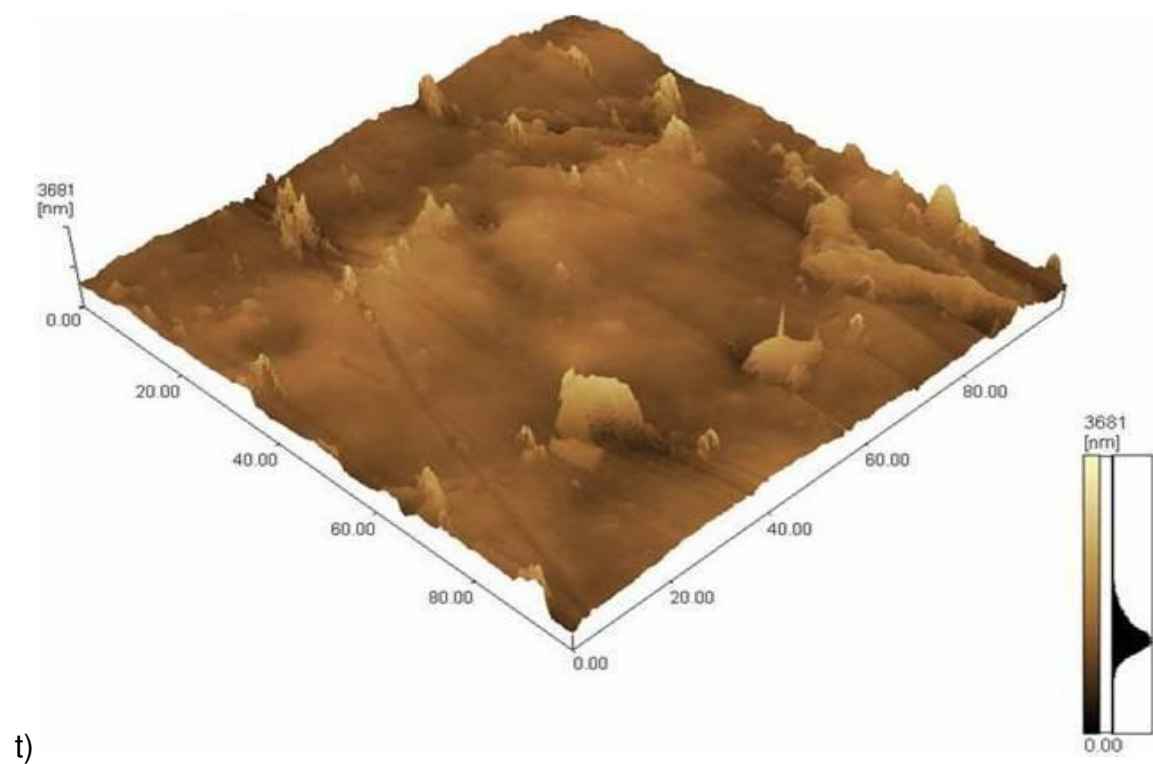
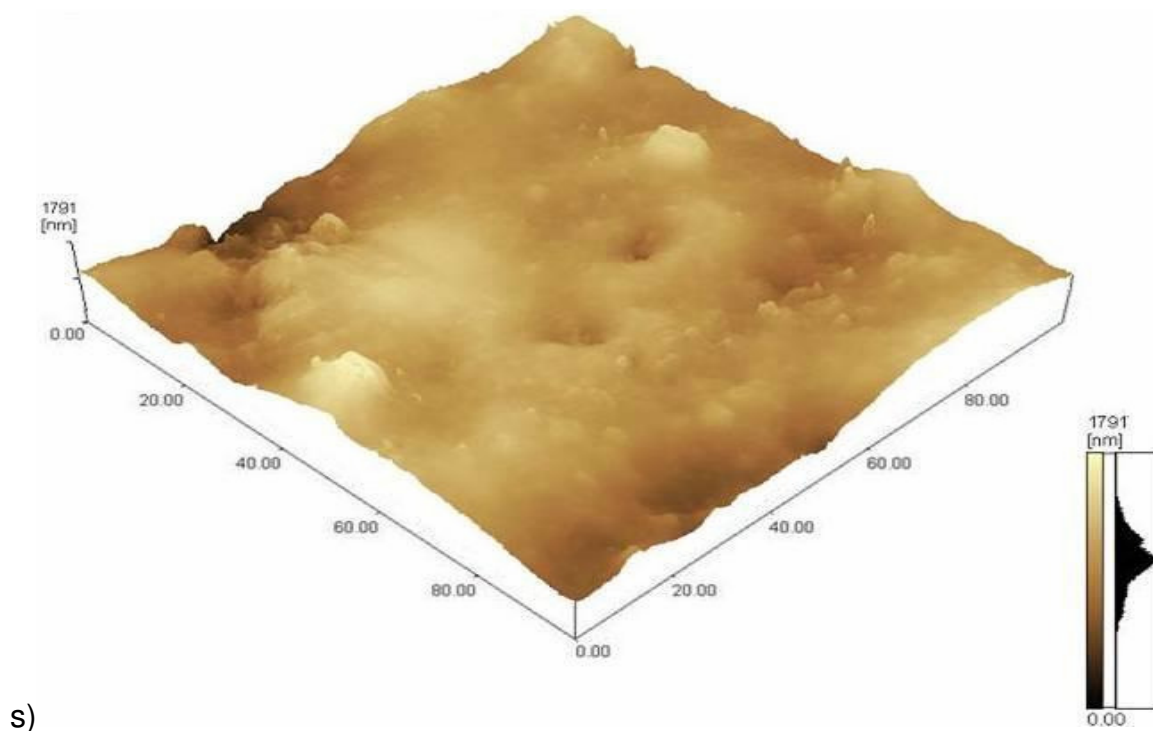


Figura 27 - Imagens topográficas obtida por microscopia de força atômica (modo contato) para papel cartão nível 1 (s), com rugosidade R_z de 1791 nm e para papel cartão nível 5 (t), com rugosidade R_z de 3681 nm.

4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS IMAGENS

Inicialmente foi avaliada a rugosidade através do parâmetro rugosidade industrial padrão, R_{zjis} . Para cada tipo de amostra (papel cartão e papel cartão marmorizado), foram obtidas pelo menos 43 imagens topográficas.

Pode-se observar que os dados de rugosidade R_{zjis} nível 5 (papel cartão marmorizado) apresentam resultados superiores em relação aos dados de rugosidade R_{zjis} nível 1 (papel cartão não marmorizado).

A tabela 1 mostra os resultados da avaliação das medidas dos parâmetros de rugosidade, realizada na superfície do papel cartão marmorizado (nível 5) e não marmorizado (nível 1).

Tabela 1 - Resultados obtidos das topografias realizados no aparelho de microscopia de força atômica (AFM), com parâmetro de rugosidade R_{zjis} para o nível 1 e nível 5.

| Parâmetro de Rugosidade R_{zjis} Nível 1 (nm) | Parâmetro de Rugosidade R_{zjis} Nível 5 (nm) |
|---|---|
| 1174 | 1004 |
| 777 | 1835 |
| 777 | 1901 |
| 758 | 1506 |
| 829 | 2005 |
| 1269 | 1014 |
| 1054 | 1039 |
| 855 | 2274 |
| 1203 | 1249 |
| 1093 | 972 |
| 608 | 817 |
| 649 | 811 |
| 1193 | 740 |
| 851 | 1142 |
| 885 | 1422 |
| 868 | 797 |
| 978 | 1244 |
| 802 | 812 |
| 873 | 1241 |
| 715 | 1395 |
| 716 | 811 |
| 797 | 1080 |
| 795 | 1553 |
| 852 | 1190 |
| 836 | 1266 |
| 714 | 1215 |
| 690 | 1294 |
| 853 | 651 |
| 974 | 1312 |
| 830 | 1036 |
| 1123 | 874 |
| 996 | 1487 |
| 790 | 1272 |
| 831 | 1073 |
| 760 | 1487 |
| 830 | 1011 |
| 751 | 1122 |
| 1335 | 1552 |
| 792 | 1521 |
| 862 | 1743 |
| 799 | 976 |
| 970 | 670 |
| 823 | 1011 |

Conforme apresentado na tabela 2, as amostras de nível 1 são estatisticamente diferentes às amostras de nível 5, dentro de um intervalo de confiança de 95% em relação ao teste estatístico One-way ANOVA.

Observa-se que no total de 43 amostras de análises topográficas para cada nível de papel cartão, apresentam a média de rugosidade de 882,2 nm com desvio padrão de 168,6 nm de rugosidade R_{zjis} para nível 1, contra a média de 1219,2 nm com desvio padrão de 368,8 nm de rugosidade R_{zjis} nível 5.

Tabela 2 - Representa as análises estatística One-way ANOVA, realizada em ambos os papéis cartões (nível 1 e nível 5). Comprovando estatisticamente que são diferentes em intervalo de confiança de 95 %.

| R_{zjis} (μm) | Nº Amostras | Média | Desvio Padrão | Intervalo de Confiança |
|------------------------------|-------------|--------|---------------|------------------------|
| Nível 1 | 43 | 882,2 | 168,6 | 95% |
| Nível 5 | 43 | 1219,2 | 368,8 | 95% |

A figura 28 é parte da análise estatística One-way ANOVA, representado pelo gráfico. Observa-se no gráfico a análise do parâmetro R_{zjis} nível 1 que tem intervalos de variações de médias de 830nm a 934nm em relação à média de 882nm, contra o parâmetro R_{zjis} nível 5 que tem intervalos de variações de médias de 1106nm a 1333nm em relação à média de 1219nm. Comprova-se através dos dados estatísticos que o nível 1 é diferente ao nível 5, com intervalo de confiança de 95% em relação à figura 28.

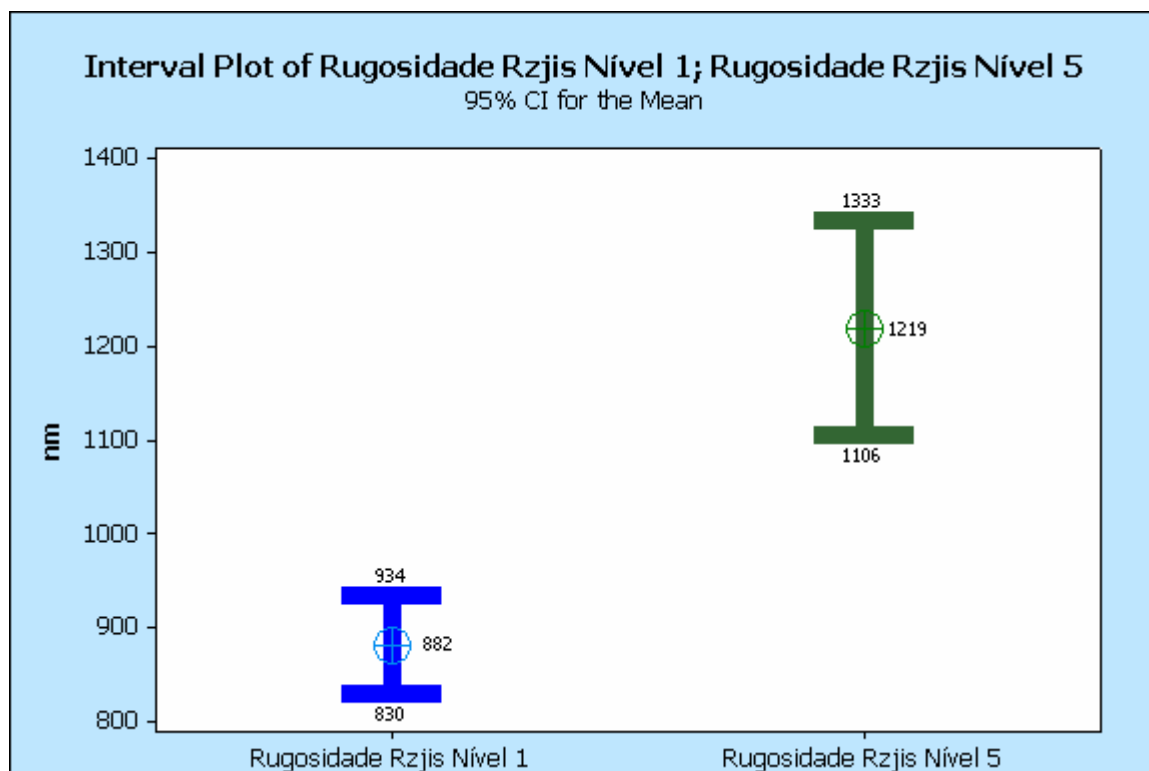


Figura 28 - Gráfico comparativo entre as análises do papel cartão nível 1 e nível 5, obtido da análise estatística One-way ANOVA.

Na figura 29, mostra-se uma visualização entre picos que graficamente o papel cartão nível 1 é diferente do papel cartão nível 5. Podemos observar no gráfico o pico acima de 3000nm é diferente dos resultados da tabela 1, que menciona o pico máximo de 2274nm. A representação neste caso é a soma dos parâmetros de rugosidade R_{zjs} nível 1 com o parâmetro de rugosidade R_{zjs} nível 5, ou seja, 855nm mais 2274nm totalizando 3129nm como mostra na segunda escala da área graph.

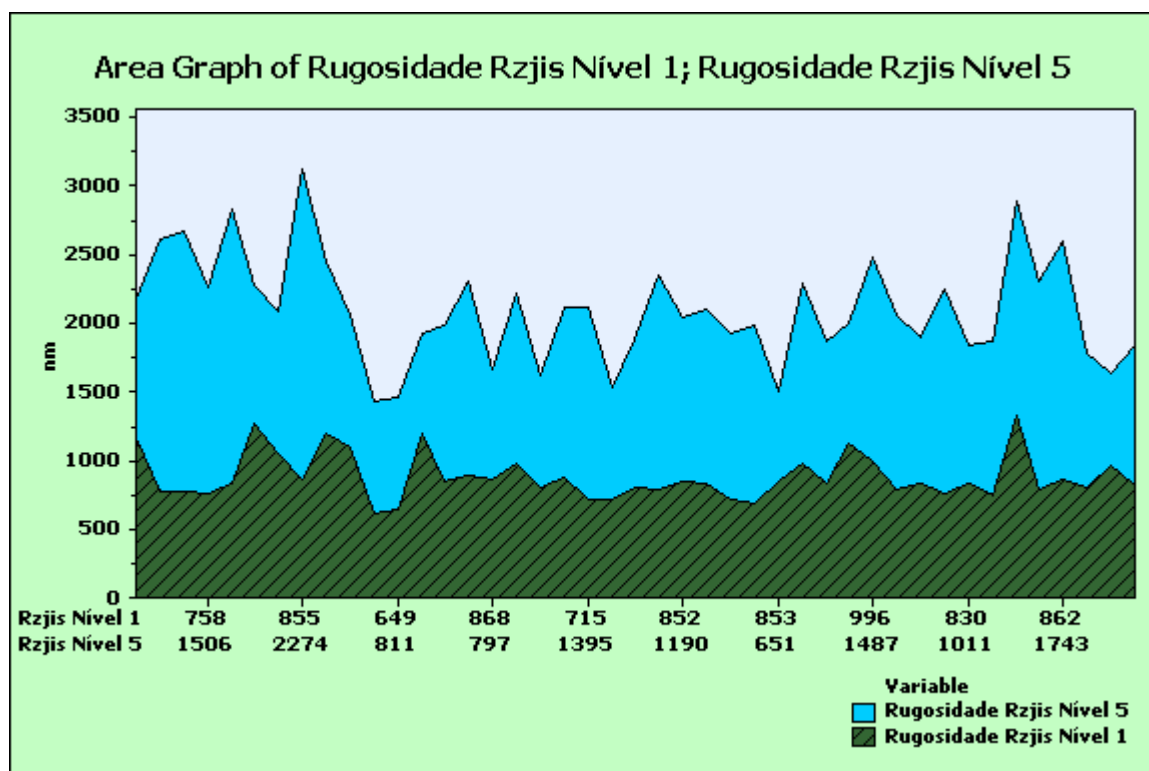


Figura 29 - Gráfico comparativo entre as análises do papel cartão nível 5 (área azul) e nível 1 (área tracejada verde).

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho demonstrou a eficiência da técnica de microscopia de força atômica (AFM) para a caracterização de papel cartão.

Através dos testes e análises estatísticas, conclui-se que o papel cartão classificado como nível 1 (não marmorizado), tem características de rugosidade diferente do papel cartão classificado como nível 5 (marmorizado). Observa-se uma relação direta entre marmorização e rugosidade, parâmetros relacionados com a superfície do papel cartão. Conclui-se que quanto maior o nível de marmorização maior é a rugosidade do papel.

Não foram encontrados registros bibliográficos da aplicação da técnica de microscopia de força atômica na superfície de papel cartão.

Tendo em vista os resultados obtidos neste trabalho, sugere-se aprofundar os estudos de caracterização da superfície de papel cartão por outras técnicas, tais como a microscopia eletrônica de varredura (MEV), visando identificar diferenças de rugosidades. Também seria importante correlacionar a metodologia empregada neste trabalho com outras técnicas de caracterização da superfície do papel cartão, como ângulo de contato, Parker Print Surface (PPS) ou técnicas de microscopia ótica, acessível para indústria de papel cartão.

Outra sugestão é empregar este trabalho em outros problemas superficiais, tais como os riscos de lâmina.

REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, T. R. **Advances in atomic force microscopy and scanning tunneling microscopy**. Thesis PH.D, Stanford Universty, v.50-07, s.B, p. 2996. 1989.
- ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e papel**. 2. ed. v. 1. São Paulo: Arte –fina, 1988. 559 p.
- ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e papel**. 2. ed. v. 2. São Paulo: Arte –fina, 1988. 405 p.
- AMERICAN NATIONAL STANDARD. **ASM/B46.1-2002**: Surface texture-roughness, Waviness and Lay, American Society of Mecanical Engineers, New York. 2003.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM F1811-97**: West Conshohocken, PA, 1997.
- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME/B46.1-1995**: New York, 1995.
- ARMEL, D.; WISE, J. An analytic method for quantifying mottle. **Springer**, n.1, p. 70-79. 1998.
- BINDELL, J. B. Elements of scanning electron microscopy. **Advance Materials & Process**, USA, v. 143, n.3, p.20-27, Mar. 1993.
- BINNIG, G; QUATE, C. Atomic force microscope. **Phys.** Rev.56, Lett.930. March.1986.
- BINNIG, G; ROHRER, H; CHRISTOPH, G. Surface studies by scanning tunneling microscopy. **Phys.** Rev.49, Lett.57. July. 1982.
- BRACELPA: Associação Brasileira De Celulose e Papel. **Relatório Anual 2008/2009**. São Paulo: 2010. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br>. Acesso em: 04 Fevereiro 2010, 12:40.
- CIOLKOSZ, E. J; DOBOS. R. R. Color and mottling. **Agronomy departament**, University Park, Pennsylvania, n.108, p.1-20, Jun. 1990.

FILHO, R. B; ASSIS, O. B. G; PESSOA, J. D. C. Relação entre parâmetros de rugosidade obtidos por microscopia de força atômica e por microscopia eletrônica de varredura. **Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo**, São Paulo, v. 17, n. 2, p.03-07, 1998.

GEORGE, T. **Piezoelectricity**, New York: v. 4. Gordon and Breacha Science Publishers, 1985. 403 p.

GOODMAN, F; GARCIA, N. Roles of the attractive and repulsives forces in atomic force microscopy, **Phys Review B**, v.43, n.6, p. 4728-4731, 1990.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4287**: Geneva, 1997.

IVAN, T. Racionalização de equipamentos para cortar formatos de precisão-cortadeiras. **O papel**, v.37, p.49-54, 1976.

JOHANSSON, P. A. **Optical Homogeniety of Prints**. PhD thesis, Kunglika Tekniska Högskolan, Stockholm. 1999.

KELLER, M. Papermaking and paperboard. **United States Patent**. New York, n.902, may. 1978.

KLUNGNESS, J. H; GLEISNER, R. Synthesis of pulping processes with fiber loading methods for lightweight papers. **Forest Products Laboratory**, USA, p.1-7. 2003.

MAGONOV, S. N; WHANGBO, M. H. **Surface analysis with STM and AFM**. New York: VCH, 2008. 323 p.

MATSUSHITA, Y. Mapping of the cationic starch adsorbed on pulp fibers by ToF-SIMS. **Elsevier**, v.255, p.1022-1024, December. 2008.

MELI, F. Roughness measurements according to existing standards with a metrology afm profiler. **Proceedings of 3rd euspen conference**, Netherlands, v. 2, p.533-536, may. 2002.

MOREAU, A. L. D. **Caracterização de filmes metálicos para catálise do crescimento de nanotubos**. TGI, Unicamp Campinas São Paulo, Ficha catalográfica [F895]. 2003.

PALMA, E. S. Apostila de Metrologia. **Engenharia Mecânica – Mecatrônica - PUC**, Minas Gerais, v. 1, p.110-121, fevereiro. 2006.

ROSSI, G. C. **Relação entre os parâmetros de corte e rugosidade da superfície usinada numa operação de fresamento de topo**. São Paulo: Ed. USP, 2003. 37 p.

SADOVNIKOV, A. Mottling assessment of solid printed areas and its correlation to perceived uniformity. **Springer**, University of Technology, Lappeenranta, Finland, v.3540, p.409-418, June. 2005.

SAITO, S. K; LOVADINO, J. R; KROLL, L. B. Rugosidade e pigmentação superficial de materiais iônicos. **Pesqui Odontol Bras**, São Paulo, v. 14, n. 4, p.351-356, out./dez. 2000.

SAVIO, G; MENEGHELLO, R; CONCHERI, G. A surface roughness predictive model in deterministic polishing of ground glass moulds. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, Padova Italy, v. 49, p.1-7, june/september. 2008.

SEDIN, D. L; ROWLEN, K. L. Influence of tip size on afm roughness measurements. **Elsevier Science B. V**, Colorado USA, v. 16, n. 182, p.40-48, april/july. 2001.

SILVA, A. A. **Efeitos topográficos em espectros rbs**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. 2006.

TERRANCE, C; BANERJEE, S. **Surface analysis of paper**. Florida: Copyrighted Material, 1995. 368 p.

TOMAZELLO, M. Formação e caracterização da madeira de compressão em pinus caribaea var. hondurensis. **IPEF**, São Paulo, n.37, p.51-59, dez.1987

VORBURGER, T; FU, J; ORJI, N. Accurately measuring surface roughness requires understanding the capabilities and drawbacks of your instrument. **Spie**, march. 2002.

WHITEHOUSE, D. J. **Handbook of surface metrology**. Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 1994.

YANG, H; NA, H; LI, Y. Visualization and quantitative roughness analysis of peach skin by atomic force microscopy under storage. **Elsevier**, Shangai China, v. 38, p.571-577, june/september. 2004.

ZHAO, J. G. **Caracterização de amostras rugosas por microscopia de força atômica**. Tese de Doutorado. UNICAMP, Brasil. São Paulo. 2003.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)