

MODELAÇÃO E PREVISÃO DA *PERFORMANCE* E DAS PROPRIEDADES DO PAPEL

Sónia Cristina Barreto Sabino Alegre Diogo

Provas destinadas à obtenção do grau de Mestre em Tecnologias Gráficas



INSTITUTO SUPERIOR DE EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS
Setembro de 2012

INSTITUTO SUPERIOR DE EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS

Escola Superior de Design, Artes e Comunicação

Provas no âmbito do 2º Ciclo de Estudos em Tecnologias Gráficas

MODELAÇÃO E PREVISÃO DA *PERFORMANCE*

E DAS PROPRIEDADES DO PAPEL

Autor: Sónia Cristina Barreto Sabino Alegre Diogo

Orientador: Prof.^a Doutora Cristina Ventura - ISEC

Co-Orientador: Prof.^a Doutora Filomena Martins - FCUL

Setembro de 2012

Resumo

A *performance* do papel na impressão é reflexo das suas características ópticas, estruturais, mecânicas e físico-químicas. O estabelecimento de modelos quantitativos rigorosos que relacionem as propriedades específicas de cada tipo de papel com a sua imprimibilidade e que permitam efectuar previsões sobre o posterior comportamento/*performance* do papel reveste-se de uma enorme relevância. Estes modelos possibilitam que o fabricante e o impressor/consumidor possam fazer uma avaliação quantitativa, mais rápida e menos onerosa sobre os diferentes tipos de papel disponíveis no mercado.

No presente trabalho foram analisados 286 papéis e cartolinas diferentes, de 12 fabricantes e 25 propriedades estruturais, ópticas, mecânicas e físico-químicas. Foi elaborada uma base de dados com 286 entradas a partir de dados recolhidos na literatura, de fichas técnicas e de informação de fabricantes. Numa segunda fase, a matriz de dados foi estendida com a determinação experimental em 19 papéis de uma propriedade físico-química, o *pH* da massa, usando para o efeito uma técnica potenciométrica e, em 15 papéis, de uma propriedade óptica, a opacidade, utilizando a densitometria de cor. A base de dados foi completada com o cálculo de uma propriedade estrutural de matriz, a densidade aparente, em 177 papéis.

Foram analisadas e comparadas as capacidades de previsão e de interpretação de modelos construídos com base em duas metodologias distintas: Regressões Lineares Multiparamétricas (RLM) e Redes Neurais Artificiais não Supervisionadas (*Self-Organizing Maps* - SOM). Concluiu-se que ambas se mostraram eficazes e que se complementam. As RLM superaram as SOM no desenvolvimento de modelos cujas propriedades envolvidas apresentavam comportamentos lineares, uma vez que permitem estabelecer equações matemáticas simples, de fácil aplicação e com níveis de previsão bastante elevados; por seu turno, as SOM têm a capacidade de classificar, conseguem extrair padrões e modelar comportamentos aparentemente estocásticos. Os modelos quantitativos foram estabelecidos com base em critérios estatísticos e procedimentos de validação muito exigentes.

Palavras-chave: papel, modelação, previsão, classificação.

Abstract

Paper performance in printing reflects paper structural, mechanical and physicochemical characteristics.

A quantitative study on paper properties and their influence on the performance of this print support is therefore extremely relevant.

In this work, 286 different papers and board papers, from 12 manufacturers, and 25 structural, mechanical, physicochemical and optical properties were analyzed. A database with 286 entries from data collected from literature, data sheets and information from manufacturers was built. In a second phase, the data matrix was extended with the experimental determination for 19 papers of a physicochemical property, the mass pH , using a potentiometric technique and, for 15 papers, of an optical property, the opacity, using color densitometry. Finally, the database was completed with the calculation of a structural property, the apparent density for 177 different papers.

In this study two distinct methodologies Linear Multi-parametric Regressions and Neural Networks - Self Organizing Maps, were used to establish mathematical models that relate printability with specific characteristics of different kinds of paper, enabling predictions on subsequent paper performance in terms of its behavior as a printing support. The final models presented were selected according to rigorous statistical criteria and validation procedures. The establishment of these quantitative models will allow manufacturers and printers/consumers to carry out a faster and cost-effective quantitative evaluation of the different types of paper available in the market.

Keywords: paper, modeling, prediction, classification.

Agradecimentos

À Prof.^a Doutora Cristina Ventura, pelo entusiasmo e simplicidade com que ensina ciência estatística, e pela dedicação na orientação desta tese, sem a qual este trabalho não teria sido possível.

À Prof.^a Doutora Filomena Martins por ter aceite a realização deste trabalho no âmbito do Grupo de Estrutura e Reactividade (GER) do Centro de Química e Bioquímica da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

À *dream team* (Carlos Monteiro, Filipa Pias e João Botelho), meus colegas e amigos, motivadores de sonhos.

À minha família pela compreensão e apoio ao meu estudo.

Índice

Resumo	4
Abstract	5
Agradecimentos	6
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO TEÓRICA	9
I.1 Introdução	9
I.1.1 A origem e constituição do papel	11
I.1.2 A produção do papel	13
I.1.3 Métodos de impressão	16
I.2 Propriedades do papel	20
I.2.1 Propriedades estruturais da matriz	22
I.2.2 Propriedades estruturais da superfície	24
I.2.3 Propriedades ópticas	25
I.2.4 Propriedades mecânicas	28
I.2.5 Propriedades físico-químicas	29
I.3 Metodologias e técnicas	32
I.3.1 Modelação e previsão de propriedades	32
I.3.2 Relações lineares multiparamétricas (RLM)	37
I.3.3 Redes neuronais	38
CAPÍTULO II – PARTE EXPERIMENTAL	45
II.1 População alvo e amostras	45
II.2 Recolha de dados e construção da matriz	45

II.3 Determinações laboratoriais	46
II.3.1 Potenciometria	46
II.3.2 Densitometria de cor	50
CAPÍTULO III – TRATAMENTO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	52
III.1 Modelos de regressão linear multiparamétrica	58
III.1.1 Discussão de resultados	59
III.2 Modelos de classificação dos papéis – Redes de <i>Kohonen</i>	64
III.2.1 Discussão de resultados	65
CAPÍTULO IV – CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS DE TRABALHO FUTURO	71
IV. Considerações finais e perspectivas de trabalho futuro	71
Referências bibliográficas	73
ANEXO 1	77
ANEXO 2	87
ANEXO 3	101
ANEXO 4	105
Índice de tabelas e figuras	109
Glossário de símbolos e abreviaturas	110

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO TEÓRICA

I.1 Introdução

Na sociedade comunicacional em que vivemos, e com o enorme desenvolvimento das telecomunicações, sistemas tecnológicos e informáticos a que assistimos nos últimos anos, somos levados a acreditar que caminhamos para um mundo sem papel. Correio electrónico, facturação electrónica e arquivos em discos de armazenamento de dados, são algumas das funcionalidades de um novo mundo, mais simples, rápido e eficaz. Esta realidade tem revelado, porém, alguns problemas de segurança, de autenticidade e confidencialidade das informações recebidas ou enviadas.

Deve também analisar-se quem são os utilizadores com acesso à sociedade informatizada. O uso dos novos dispositivos digitais é substancialmente diferente entre os países com maior desenvolvimento económico-social e os países sub-desenvolvidos, ou mesmo em via de desenvolvimento. A globalização da sociedade contemporânea não significa que os processos informativos mundiais sejam completos e com cobertura total do território. Embora esses sistemas se anunciem globais, a globalização deve ser entendida quase exclusivamente na perspectiva da facilidade de uso dessas ferramentas.

Não obstante o surgimento da imprensa *online*, a venda de revistas e jornais impressos em 2010, em Portugal, foi cerca de 48 milhões de unidades, segundo dados da Associação Portuguesa para o Controlo de Tiragem e Circulação (APCT). [1] O mesmo acontece com o aparecimento e crescimento do mercado de *e-books*, livros em formato digital. Segundo a Amazon, empresa de comércio *online*, este crescimento é acompanhado por um aumento na venda de livros em suporte físico, mesmo quando comercializados por plataformas electrónicas. [2]

De salientar que o papel enquanto suporte de impressão, pode ser lido independentemente de haver ou não computador, *i-Pad*®, *i-Pod*®, *i-Phone*®, ou outro equipamento digital. O papel foi, é e será sempre um suporte físico que pode ser copiado e armazenado diminuindo a probabilidade de perda de dados.

As inovações tecnológicas dos últimos tempos ajudaram a otimizar o consumo do papel, por exemplo, na impressão de dados variáveis aplicáveis ao *marketing* directo, permitindo que empresas e organizações comuniquem de forma eficiente com um grupo muito preciso de clientes.

As preocupações com o impacto ambiental provocado pelo fabrico e existência de papel têm tido uma evolução significativamente positiva. É valorizado pelo consumidor e anunciado pelos fabricantes o fabrico de papel sustentável, com origem em florestas geridas de forma responsável, com planos de reflorestação. [3,4] A reciclagem do papel tem-se enraizado nos hábitos sócio-culturais das populações. Os últimos dados apresentados pela Sociedade Ponto Verde, relatam a recolha, em Portugal, de 134.236 toneladas de papel/cartão no presente ano (dados até 31 de Julho de 2011). [5]

O papel é um produto integrante e essencial nas nossas vidas e está presente em tudo o que nos rodeia. A maioria da informação impressa tem como suporte o papel e as suas inúmeras aplicações fazem parte do nosso quotidiano. Dinheiro, quer em notas, quer em cheques, escrituras, certificados, certidões, boletins, bilhetes, senhas, embalagens, rótulos, bulas de medicamentos, manuais de instruções, cadernos, máscaras, jogos, papel de parede, candeeiros, *outdoors*, horários, preçários, ementas, convites, copos, etc., são todos produtos de papel, é infindável a lista das suas variantes de utilização.

Imaginar-mos a vivência, no século XXI, sem papel impresso é um exercício de ficção: perderíamos informação essencial para nos deslocarmos, agirmos e aprendermos; [3,4] não conseguiríamos identificar os produtos que consumimos, a sua data de validade e composição e dificilmente os deslocaríamos ou armazenaríamos sem embalagens; perderíamos informações de procedimentos e regras de utilização afixadas em hospitais, transportes públicos, escolas, museus e salas de espectáculos. Porém, uma das perdas mais significativas seria a ausência de registos históricos e culturais do passado e presente que são testemunhados ou criados em papel.

I.1.1 A origem e constituição do papel

A comunicação escrita existe desde os primórdios da humanidade. O homem utilizava as mais diversas formas de se expressar através do desenho/escrita nos suportes mais surpreendentes.

Vários povos, em diferentes regiões do mundo e com métodos e matérias-primas diferentes, foram criando os “percursores” do papel; era comum o uso de pedra e barro; na Índia, usavam-se folhas de palmeiras; os esquimós utilizavam ossos de baleia e dentes de foca; na China os livros eram feitos com conchas e carapaças de tartaruga e posteriormente em bambu e seda; nas civilizações Maia e Asteca serviam-se de cascas de árvores, chamadas "tonalamatl". [6]

As matérias-primas mais conhecidas e próximas do papel foram o papiro e o pergaminho. O papiro foi inventado pelos egípcios e apesar de sua fragilidade, milhares de documentos em papiro chegaram até aos dias de hoje, datando os exemplares mais antigos de 3.500 a.C. , era preparado à base de tiras extraídas de uma planta abundante no Rio Nilo, o “Cyperua papyrus”. O pergaminho, assim denominado porque teve origem na cidade de Pérgamo, na Ásia Menor, veio substituir o papiro devido a ser muito mais resistente, era produzido a partir de peles tratadas de animais, geralmente de ovelha, cabra ou vaca. [6, 7]

Os chineses iniciaram a produção do papel tal como o conhecemos hoje. O papel foi produzido a partir de desperdícios têxteis, durante os primeiros anos da Era Cristã, segundo os registos encontrados. A sua produção consistia numa mistura composta por fibras de casca de amoreira, restos de roupas e cânhamo, que se humedecia e batia até formar uma pasta. Essa pasta era peneirada até ficar uma camada fina que se secava ao sol, obtendo-se dessa forma uma folha de papel. [6, 8]

As técnicas de produção foram evoluindo e foram usadas por outros países como a Coreia e o Japão, onde os primeiros registos datam de 610 d.C., seguidos pelos países da Ásia Central e Índia. A partir do ano 751, através dos árabes, esse conhecimento foi expandido para o Ocidente, foi aplicado na instalação de fábricas de produção de papel em Bagdad, Damasco, Cairo e mais tarde em Marrocos, Espanha e Sicília. A primeira fábrica de papel espanhola, em Xativa, foi inaugurada em 1094. [8]

Seguiram-se produções em Itália e na Alemanha, e progressivamente por toda a Europa. Na época, a utilização da madeira foi esquecida, utilizando-se o algodão e trapos de linho como principal matéria-prima na produção de papel. [8]

O fabrico do papel foi generalizado e incrementado com a evolução das máquinas de produção e das técnicas de impressão, nomeadamente com a invenção da prensa tipográfica e da impressão com tipos móveis pelo alemão Gutenberg por volta de 1440. Esse aumento levou à escassez da matéria-prima e à regulamentação do comércio do trapo. [8]

A aplicação da madeira ressurgiu em França, em 1719, e em 1850 é desenvolvida pelo alemão Keller, a primeira máquina de moer madeira para produção de fibras. Essas fibras eram separadas e transformadas, dando origem à “pasta mecânica”. [8,9] As primeiras espécies de árvores usadas no fabrico industrial do papel foram o pinheiro, o abeto, o vidoeiro, a faia, o choupo preto e o eucalipto. A “pasta química”, ou seja, o tratamento da pasta com produtos químicos, surge em 1854, com o inglês Mellier Watt.

A partir de 1860, com a introdução da electricidade aplicada à indústria do papel, o mercado sofre uma verdadeira revolução, uma vez que todo o processo de fabrico se torna mais rápido e eficiente e passa-se a produzir pastas mecânicas e químicas de diferentes tipos de papel/cartão. O papel passa a ser produzido em larga escala, com alta qualidade e preços baixos. A principal espécie eleita para a origem das fibras, passa a ser o eucalipto, por ter um ciclo de crescimento rápido. A partir de 1950, a responsabilização ambiental é parte integrante na gestão da actividade industrial papelreira. [8,9]

Portugal foi o primeiro país a produzir pastas químicas de eucalipto em 1923 com sulfito, utilizando um licor de cozimento com bissulfito e em 1957 com sulfato, utilizando um licor de cozimento com uma mistura de hidróxido de sódio (NaOH) e sulfureto de sódio (Na₂S). [8]

A matéria-prima essencial no fabrico do papel¹ é a polpa da madeira (*pinus* e eucalipto em Portugal). Os principais constituintes das paredes das células da madeira são a celulose, a hemicelulose e a lignina (este último componente é o responsável pela rigidez da madeira). [10, 11] A Tabela 1 mostra a composição média de madeira de Coníferas (*pinus*) e Folhosas (eucalipto).

¹ Estima-se que a produção de 1 tonelada de papel necessita de 20 árvores de eucalipto com a idade de corte entre 6 a 7 anos.

Tabela 1: Composição média de madeira de Coníferas e Folhosas. [10,11]

	Celulose	Polioses(hemicelulose)	Lignina	Extractivos
 Coníferas	42 ± 2 %	27 ± 2 %	28 ± 2 %	5 ± 3 %
 Folhosas	45 ± 2 %	30 ± 5 %	20 ± 4 %	3 ± 2 %

Os constituintes do papel são essencialmente fibras de celulose – entrelaçadas e com ligações por pontes de hidrogénio - água e aditivos (cargas minerais, agentes de colagem, estabilizadores de pH,...). A madeira, tal como anteriormente referido, é o material lignocelulósico mais utilizado na obtenção de fibras para fabricação de papel.

I.1.2 A produção do papel

Os diferentes processos de polpação (produção de pasta de papel) são classificados em três tipos principais, de acordo com os seus rendimentos em polpa e com a forma de energia utilizada na separação das fibras: processo mecânico, químico ou semiquímico. [10,11]

Processo mecânico

No processo mecânico, os toros de madeira, neste caso preferencialmente de coníferas, são prensados em meio húmido contra um rolo giratório cuja superfície é coberta por um material abrasivo, reduzindo-os a uma pasta fibrosa denominada “pasta mecânica” (*groundwood*), podendo-se alcançar um rendimento que varia de 93 a 98 %.

Neste caso, não é possível uma separação completa das fibras dos demais constituintes do vegetal, obtendo-se assim uma pasta barata, cuja aplicação é limitada, pois o papel produzido a partir dela tende a escurecer (envelhecer) com uma certa rapidez, mesmo depois de passar pela etapa de branqueamento, uma vez que ocorre

oxidação da lignina residual. A pasta mecânica é muito usada para a fabricação de papéis que não exigem muita resistência ou brilho como o papel para jornal, embrulhos, papéis absorventes, etc.

Um outro tipo de processo denominado processo termo-mecânico submete a madeira, sob a forma de cavacos, a um aquecimento com vapor (cerca de 140 °C), provocando, na madeira e na lignina, uma transição de um estado rígido para um estado plástico, seguindo para o processo de desfibramento em refinador a disco. Com este tipo de processo, é possível obter um rendimento um pouco menor do que no processo mecânico em torno de 92 a 95 %, mas obtém-se uma celulose para a produção de papéis de melhor qualidade, pois proporciona maior resistência mecânica e melhor imprimibilidade. [10,11]

Processo químico

Os processos químicos envolvem a separação das fibras através da acção de reagentes químicos em condições específicas de temperatura, pressão, tempo e concentração desses reagentes, que actuem principalmente sobre a lignina. É comum encontrar-se na literatura o termo cozimento para definir esse procedimento.

Os reagentes químicos removem a lignina e outras impurezas mas também degradam uma fracção de hemicelulose e celulose. A degradação de parte dos polissacarídeos determina a qualidade da polpa e pode também influenciar as propriedades do papel, além de reduzir o rendimento do processo. Com a utilização destes processos químicos, somente 40% a 50% da massa total inicial da madeira é aproveitada. [10,11] Os processos químicos podem ser alcalinos (soda e *kraft*) ou ácidos (sulfito).

O papel utilizado na impressão de folhetos, brochuras, sacos, embalagens, rótulos, etc., é maioritariamente originário de pasta química.

Processo de *kraft* (Químico)

O processo *kraft* é o mais importante e o dominante na produção de papel. Este envolve o cozimento de cavacos de madeira num vaso de pressão, o digestor, com solução de hidróxido de sódio (NaOH) e sulfureto de sódio (Na₂S) como reagentes químicos deslignificantes. O sulfureto de sódio proporciona um aumento da velocidade

de reacção e da qualidade da polpa mas tem a desvantagem de formar mercaptanas e H₂S (sulfureto de hidrogénio) responsáveis pelo odor característico deste processo.

A polpa *kraft* origina papéis resistentes e com coloração escura. Para atingir o objectivo de obter polpas totalmente brancas, é necessário remover a lignina residual do processo de *kraft*, através de um processo químico de branqueamento.(*vd. I.2.3*) Este procedimento é muito difícil de concretizar, já que a lignina residual encontra-se fortemente ligada às fibras. Por isso, o branqueamento é realizado em diversas etapas, garantindo a obtenção de polpas de alvuras elevadas, com mínima degradação da celulose. .(*vd. I.2.2*)

Aproximadamente 80 % de lignina, 50% de hemicelulose e 10% de celulose são dissolvidos num cozimento *kraft* convencional.

O processo *kraft* apresenta vantagens sobre os demais processos de polpação, sendo as principais a eficiência no sistema de recuperação dos reagentes, sub-produtos valiosos como “*tall-oil*” e terebintina, a produção de polpa de alta resistência; a flexibilidade quanto à matéria-prima utilizada; quantidades relativas de casca nos cavacos podem ser toleradas e ainda tempos de cozimento curtos, de acordo com os objectivos de produção de polpa branqueada ou não branqueada e por forma a atingir o maior rendimento possível. Este processo apresenta também algumas desvantagens tais como o baixo rendimento; o alto custo de investimento na construção da fábrica; o forte odor característico e o alto custo do branqueamento da polpa produzida. [10,11]

Processo Semi-químico

O processo semi-químico consiste na combinação dos processos químico e mecânico; são acrescentados produtos químicos em baixas percentagens para facilitar ainda mais a desfibragem, sem, contudo, reduzir demasiadamente o rendimento, estacionando-se este numa faixa de 60 a 90 %. [10,11]

A pasta semi-química é difícil de ser branqueada e torna-se amarelada quando é exposta à luz solar. Serve para aplicações onde a resistência, a rigidez e a coloração não são tão necessárias, como por exemplo, no miolo do cartão canelado.

Por vezes pode haver interesse em identificar o tipo de pasta que deu origem a um determinado papel. A figura 1 representa em esquema dois dos testes laboratoriais

mais comuns que uma vez usados sobre um determinado papel permitem identificar o tipo de pasta que lhe deu origem.

No segundo teste indicado o reagente de Wiesner é preparado através de uma combinação de 50 mL de uma solução de floroglucinol (1,3,5 – trihidroxibenzeno) a 2% em etanol a 95% e 25 mL de ácido clorídrico concentrado. A solução pode ser muito instável, deve ser armazenada em vidro âmbar devidamente fechado e só deve ser adicionada ao ácido clorídrico no momento da utilização.

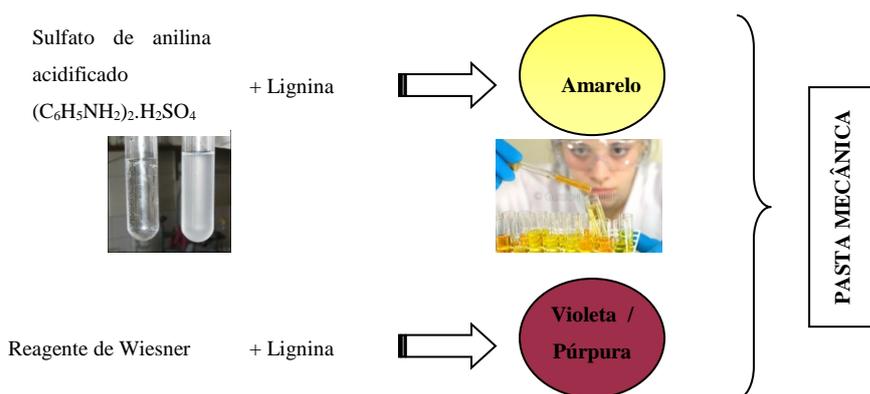


Figura 1: Testes químicos laboratoriais efectuados sobre o papel para a identificação da pasta de origem.[10,11]

I.1.3 Métodos de impressão

Os métodos de impressão evoluíram extraordinariamente ao longo dos tempos. A primeira imprensa conhecida utilizava gravuras, matrizes que transportavam a tinta para o suporte de impressão por decalque, à semelhança do actual carimbo.

Na **xilografia**, a matriz utilizada é de madeira entalhada. Este é provavelmente o método mais antigo conhecido e utilizado inicialmente pelos chineses no século VI.

Gutenberg, inventor e gráfico alemão, provocou a revolução da imprensa com a invenção da impressão por tipos móveis, a utilização de uma prensa tipográfica² e a aplicação de tintas com base de óleo. Surge assim, no século XV, a **tipografia**, escrita através de tipos. Este método de impressão consiste na composição de caracteres de estanho que formam linhas e subsequentemente páginas, seguindo-se a impregnação com tinta e a pressão, através da utilização de uma prensa, contra uma folha de papel,

² Prensa de madeira com a forma de rosca de parafuso, semelhante à que era utilizada na época na agricultura.

obtendo-se desta forma o papel impresso. No método tipográfico, a matriz passou a ser de metal. [12]

No século XVIII, surge a **litografia**, nome de origem grega que significa escrita utilizando a pedra. A matriz litográfica utilizada na altura era uma pedra de granito desenhada na superfície com gordura (tinta). Mais tarde a pedra foi substituída por chapa de zinco. O método litográfico assenta no princípio da repulsão entre a água e as substâncias gordurosas ou hidrófobas. A zona de imagem é gordurosa, mas quando a matriz é humedecida absorve água onde não tem gordura, impedindo assim que a tinta se espalhe. Este fenómeno é intensificado com um tratamento químico da matriz. [12]

O desenvolvimento destes métodos de impressão e as novas tecnologias originaram os métodos actualmente usados, dos quais se destacam: o *offset*, a rotogravura, a flexografia, a serigrafia, a tampografia e a impressão digital.

Offset

A evolução/automatismo do método litográfico, nomeadamente com o acréscimo de um cilindro no corpo de impressão que faz a transferência da imagem deu origem ao nome *offset* (deslocado), tornando-se desta forma uma impressão indirecta, contrariamente a todos os métodos anteriores.

O corpo de impressão no método *offset*, representado na figura 2, é composto por 3 cilindros: o cilindro da chapa (matriz – onde é gravada a imagem), o cilindro do *cauchu* (é um cilindro em borracha que se situa entre a chapa de impressão e o papel, e que tem como função fazer a passagem da tinta absorvida pela chapa de impressão para o papel) e o cilindro impressor que exerce pressão sobre o *cauchu* e o papel. [13]

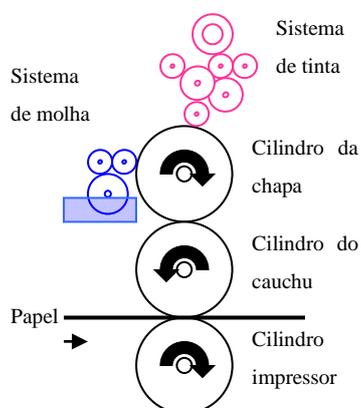


Figura 2: Representação do corpo de impressão no método *offset*. (adaptado de [13])

O método *offset* é utilizado em impressões de tiragens médias e altas, sendo o suporte mais utilizado o papel, embora também se imprima com este método sobre polipropileno. É indicado para impressão de material promocional, editorial e embalagens.

Rotogravura

A rotogravura é um método de impressão directo, cuja matriz é um cilindro, revestido com cobre e cromo, gravado em baixo relevo e criando micro-células que retêm a tinta. Este método é aplicado em máquinas impressoras rotativas: o cilindro matriz roda num tinteiro (com tinta líquida e solventes de secagem rápida por evaporação), o excesso de tinta é raspado por uma *raclet* (lâmina metálica) e o suporte a imprimir é pressionado por um cilindro de borracha (cilindro pressor) contra o cilindro matriz, o que permite a transferência da tinta das micro-células para o suporte. [13]

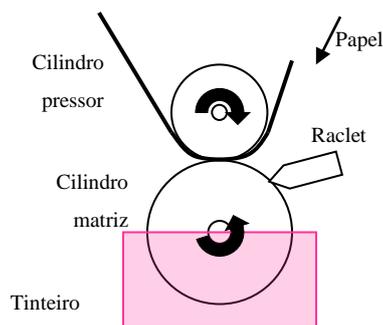


Figura 3: Representação do corpo de impressão em rotogravura. (adaptado de [13])

A rotogravura é um método recomendado para impressões de altas tiragens e é muito utilizado em publicações e igualmente em embalagens, pela possibilidade de imprimir sobre material flexível como papel, alumínio, celofane, poliestireno, polipropileno e outros filmes plásticos.

Flexografia

Na flexografia à matriz chama-se *cliché*, e consiste numa chapa de borracha, um fotopolímero, que passa por um processo de gravação, onde a imagem a imprimir está em alto relevo à semelhança dos carimbos. [12, 13]

A flexografia é um método de impressão directo que pode ser aplicado em máquinas planas ou rotativas. As máquinas de impressão flexográfica têm um corpo de secagem (sistema de aquecimento ou ventilação e/ou exposição à radiação UV) e as tintas utilizadas são líquidas e aditivadas com solventes de secagem rápida. Os suportes são flexíveis, de diversos materiais, sendo os mais comuns o papel, o alumínio e os filmes plásticos (PE, PP, PET). É por isso um método indicado para rótulos, sacos e outro tipo de embalagens.

Serigrafia

A matriz serigráfica denomina-se tela e é uma rede de *nylon*, poliéster ou seda esticada e presa a um quadro de madeira ou metal.

Neste método de impressão directa, a área de não impressão é vedada/impermeabilizada num processo químico com uma emulsão fotossensível, deixando a área de imagem a imprimir limpa, permitindo que a tinta passe através da rede da tela para o suporte. As tintas utilizadas são espessas, colocadas em cima da tela e espalhadas por uma *raclet* de borracha. [13]

As máquinas de impressão serigráfica são planas, manuais e/ou automáticas, para pequenos, médios e grandes formatos. Essa diversidade, assim como a opacidade e a “aderência” das tintas utilizadas, permitem imprimir sobre vários tipos de suporte desde papel, tecido, plástico, vidro, cerâmica, metal, cortiça, etc., e possibilita múltiplas aplicações como impressão em *t-shirts*, brindes publicitários, material escolar, cartazes *outdoors*, padrões em tecidos e identificação de peças industriais (material electrónico, de construção, calçado, mobiliário, etc.).

Tampografia

A tampografia é um método de impressão indirecto, ou seja, a tinta é transferida da matriz (*cliché* gravado em baixo relevo) para uma peça de silicone que por sua vez a passa para o suporte a imprimir.

Devido à consistência moldável da peça de silicone, este método permite imprimir em superfícies irregulares ou curvas, e é por isso muito utilizado na impressão de brindes publicitários. As máquinas tampográficas são de pequeno formato.

Impressão Digital

A impressão digital é o método que transmite a “imagem” através da máquina impressora para o suporte, sem a utilização de uma matriz. Esta é a principal alteração face aos restantes métodos de impressão e o que lhe confere a vantagem competitiva. É ideal para impressão de pequenas quantidades ou mesmo exemplares únicos.

Às tintas utilizadas neste tipo de impressão dá-se o nome de *tonners*, que podem ser em pó seco ou líquidas. As principais tecnologias utilizadas neste método de impressão assentam em fenómenos físicos electrostáticos e são a electrofotografia (impressão a laser) e a impressão de jactos de tinta (*Inkjet*). [14]

Na electrofotografia a imagem a imprimir é atraída para um tambor electrizado sobre a forma de *tonner* que ao passar por um fusor é aquecido e fixo ao suporte de impressão.

A tecnologia jacto de tinta expelle o *tonner* para o suporte através das cabeças impressoras e a tinta pode sair em fluxo contínuo ou “gota a pedido”. O aperfeiçoamento das cabeças de impressão e da própria tecnologia tem sido constante e diferente de marca para marca de impressoras.

Existem máquinas com grande definição de impressão para formatos até A3+, máquinas para formatos médios e para grandes formatos onde são impressas, por exemplo, as telas para publicidade que se aplicam em empenas de edifícios.

Este método de impressão permite a utilização de diferentes suportes como papel, cartão, tela, tecido, acrílico ou madeira.

I.2 Propriedades do papel

É o conjunto das propriedades de cada papel que o define e permite agrupar de acordo com a técnica de impressão e aplicação para a qual é mais indicado. De acordo com a sua função, temos papel específico para vários tipos de impressão: *offset*, digital, serigrafia, flexografia, etc. ou seja para impressão/produção de diversos materiais, tais como embalagens, rótulos, livros, brochuras, jornais, etc.

A matéria-prima, o processo de fabrico e as cargas e aditivos incluídos são os principais responsáveis pelas diferenças nas propriedades e características ópticas, estruturais, mecânicas, física e químicas do papel que o tornam um produto versátil com uma ampla gama de aplicações.

Uma das formas de classificar as propriedades do papel é fazê-lo segundo cinco categorias, [15-22] tal como é ilustrado na figura 4.

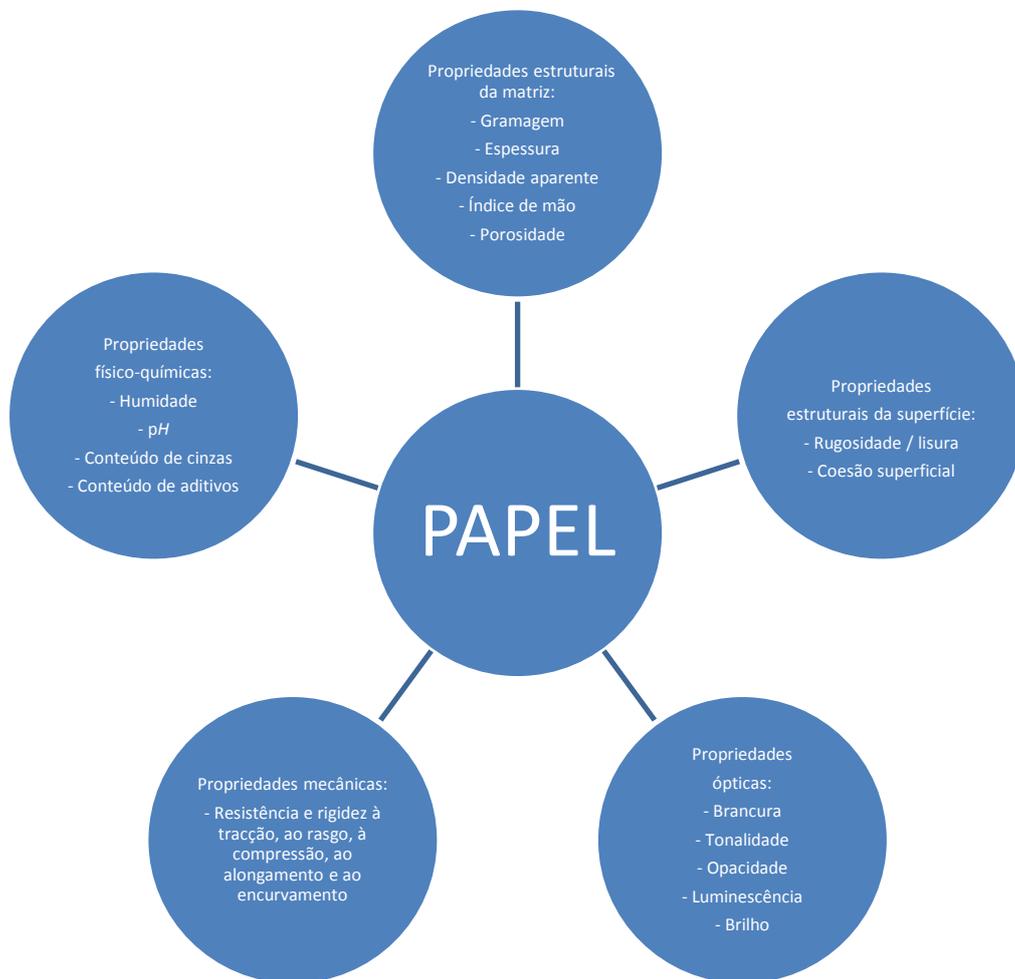


Figura 4: Propriedades do papel.

Neste estudo, foram escolhidas distintas propriedades estruturais, ópticas, mecânicas e físico-químicas, descritivas das características e comportamento dos papéis [15-22] e que de seguida descrevemos sucintamente:

I.2.1 Propriedades estruturais da matriz

Gramagem

A gramagem é uma das principais propriedades do papel, quer do ponto de vista comercial³, quer por influenciar directamente as características mecânicas, a espessura e a opacidade do papel.

A gramagem de um papel é uma das características mais determinantes para a sua aplicação, uma vez que condiciona os acabamentos possíveis e o tipo de impressão a utilizar.

A maior ou menor quantidade de pasta que é lançada na teia durante o fabrico do papel determina a sua gramagem. Idealmente a gramagem deveria ser constante ao longo da folha durante o processo de fabrico. No entanto, controlar todas as variáveis que influenciam o processo pode dificultar este objectivo. [15-22]

A unidade de medida da gramagem do papel é expressa em gramas por metro quadrado (g/m²), ou seja é o resultado da divisão da massa de uma amostra de papel ou cartão pela respectiva área. É padronizada pelas normas ISO⁴ 536, NP EN ISO 536 e NF Q03 019. [15]

As equações 1 a 3 relacionam-se com a determinação desta propriedade.

1) Gramagem, *G*

$$G = \frac{P_A}{A} \quad (g / m^2) \quad \text{[equação 1]}$$

P_A – peso médio de papel com a área A , em g

A – área da amostra expressa em m²

2) Erro associado

$$Dp = \sqrt{\frac{\sum (P_i - P_A)^2}{N - 1}} \quad \text{[equação 2]}$$

Dp – desvio padrão

P_i – cada uma das pesagens efectuadas

P_A – peso médio de papel com a área A , em g

N – nº de pesagens total

³ Por regra o papel é vendido ao peso.

⁴ Organização Internacional de Standardização.

3) Peso de uma resma de folhas de formato A_X

$$P_{Resma} = \frac{P_A \times A_X}{A} \times 500 \quad \text{[equação 3]}$$

P_A – peso médio de papel com a área A , em g

A – área da amostra expressa em m^2

A_X – área da folha de formato A_X , em g

Espessura

A espessura ou massa volúmica de uma folha simples é a distância entre as duas faces do papel ou cartão e é determinada através de uma carga estática, nas condições do processo de ensaio normalizado, 100 kPa de pressão e 200 mm^2 de área.

A espessura média é calculada pela medição de um maço, i.e., várias folhas sobrepostas, que são sujeitas a uma carga estática e nas condições do método normalizado. O micrómetro é um instrumento utilizado nessa medição e a unidade de medida é o micrómetro (μm). A normalização da espessura é certificada pelas normas NP EN 20534 e pela norma ISO 534. [15-22]

Densidade aparente

A densidade aparente (*bulk*), representada por $D_{Aparente}$, é a massa por unidade de volume de papel. A sua unidade de medida é g/mL ou g/cm^3 e é especificada nas normas ISO 534 e NP EN 20534 (equação 4). [15-22]

$$D_{Aparente} = \frac{1}{\text{Índice de Mão}} \quad \text{[equação 4]}$$

Índice de mão

A denominação índice de mão é dada ao volume por unidade de massa ou peso de papel. É expresso em mL/g ou cm^3/g e é regulado pelas normas ISO 534 e NP EN 20534. O quociente da espessura pela gramagem também determina o índice de mão. [15-22]

Permeabilidade ao ar / porosidade

A porosidade mede a resistência do papel à passagem do ar e quantifica-se através da medição do fluxo de ar que passa por uma determinada área de uma folha de papel. Essa quantificação é feita utilizando o aparelho de medida Bendtsen, segundo o método Bendtsen e de acordo com a norma ISO 5636-3 ou segundo a TAPPI⁵, com a norma TAPPI T 547 om-02, utilizando o método Sheffield, que mede a permeabilidade ao ar de uma amostra circular de papel, presa numa borracha de fixação, através de um diferencial de pressão de aproximadamente 10kPa. O fluxo de ar pode ser expresso em mililitro por minuto (mL / min) ou em micrómetro por pascal segundo ($\mu\text{m}/\text{Pa}\cdot\text{s}$).

A medição da porosidade é utilizada para prever a capacidade de absorção do papel a tintas ou colas. A baixa porosidade pode causar problemas na laminação ou rotulagem de papéis, por não permitir a penetração suficiente da quantidade de cola desejável; no entanto a porosidade alta ou porosidade variável, em papéis com pouco peso, pode causar dificuldades na alimentação e transporte do papel durante o processo de impressão. [15-22]

I.2.2 Propriedades estruturais da superfície

Rugosidade

A rugosidade afecta a aparência e a qualidade de impressão de um papel. Quanto maior for a rugosidade mais irregular é a superfície do papel. As duas faces de uma folha de papel podem ter níveis de rugosidade diferentes de acordo com o seu processo de fabrico.

Segundo o método Bendtsen, norma ISO 8791-2, a rugosidade é medida pelo débito de ar que passa entre a cabeça de medida circular plana de vidro do aparelho (Bendtsen) e a superfície de uma folha de papel ou cartão. É expressa em mililitros por minuto (mL/min). [15-22]

⁵ Associação mundial das indústrias de transformação de celulose, papel e embalagens.

Lisura

Os instrumentos medidores de lisura indicam o tempo necessário para que um determinado volume de ar, sob pressão controlada, passe entre a superfície do papel e a superfície polida do aparelho. Este tempo é medido em minutos por mililitro (min/mL), conforme normas TAPPI.

Os papéis podem ter níveis de lisura diferente nas suas faces.

O método Bekk determina a lisura que está normalizada pela ISO 5627. Podem igualmente aplicar-se os métodos Bendtsen e Sheffield. Quanto menor for a rugosidade maior é a lisura. [15-22]

Coesão superficial

A coesão superficial é a resistência da superfície de um determinado papel aos processos de impressão por forma a libertar ou não partículas que caso estejam impressas afectam a homogeneidade da impressão.

A norma ISO 3783 regula a determinação da resistência superficial através do teste IGT, desenvolvido pela IGT Testing Systems, Inc., [16] que consiste na utilização de um aparelho de medição próprio onde se aplica tinta à superfície de uma amostra de papel a uma velocidade crescente. Como a velocidade aumenta, a força de descamação aplicada ao papel também aumenta e a velocidade de desprendimento das fibras é registada com a unidade de medida IGT. Em papéis para impressão offset recomenda-se que a IGT seja alta (>300). [15,16,22] A coesão superficial também pode ser determinada utilizando o teste de *Peel*, que consiste em aplicar uma fita adesiva na superfície de um papel a 180° de inclinação, puxar com uma determinada força e direcção e medir a quantidade de fibra que fica na fita. [15]

I.2.3 Propriedades ópticas

Brancura

A brancura segundo a CIE⁶ é determinada pelo factor de reflectância (quantidade de luz reflectida) difusa de uma folha de papel ou cartão usando todo o espectro

⁶ Comissão Internacional de Iluminação.

visível, considerando o iluminante D65 (que simula a luz do dia) e o observador padrão a 10 graus (D65/10).

A brancura definida pela ISO, normas ISO 11476 e 2470, é a percentagem de luz reflectida por uma folha de papel ou cartão no comprimento de onda azul (457 nm), considerando um iluminante C (que simula a luz do dia) e um observador padrão a 2 graus.

O resultado é calculado em percentagem e utiliza-se um espectrofotómetro para medir o nível de brancura do papel.

A brancura do papel é obtida a partir de processos de branqueamento. O branqueamento do papel consiste num tratamento químico, em vários estágios, que se aplica à celulose após o cozimento, a depuração e a lavagem e aplica-se igualmente na pasta mecânica depois do desfibramento ou, em alguns casos, às aparas após o processo de desagregação, de modo a descolorir ou remover os materiais corantes não-celulósicos existentes na massa, aumentando assim a brancura do papel. Este processo de branqueamento é produzido através da acção de agentes oxidantes como o cloro, o hipoclorito de sódio ou de cálcio, o dióxido de cloro, o peróxido de hidrogénio, ou por agentes redutores como o hidrossulfureto de zinco.

A brancura é uma das características do papel com maior influência na qualidade de impressão: quanto mais branco for o papel, maior será a fidelidade das cores impressas.

Uma folha branca reflecte todo o espectro de luz visível em quantidades iguais de vermelho, verde e azul, embora a maioria das pessoas perceba como mais branco um tom ligeiramente mais azulado. Esta percepção depende do observador e a cultura e o clima em que o mesmo está inserido têm uma forte influência. [15-22]

Tonalidade

A tonalidade é a “cor” de um papel, sendo cor a percepção ao nível do cérebro do observador à luz emitida por uma folha de papel. Esta característica está directamente relacionada com a brancura. O resultado é calculado em percentagem e utiliza-se um espectrofotómetro para medir a tonalidade do papel. [15-22]

Opacidade

A opacidade limita a quantidade de luz que atravessa um papel. Papéis com baixa opacidade apresentam problemas de legibilidade de textos e de alterações de cores nas imagens coincidentes na frente e verso de uma folha.

Determina-se a opacidade através da relação entre a reflectância difusa de uma folha de papel apoiada sobre fundo preto e a reflectância difusa da mesma folha apoiada sobre um fundo branco ou sobre diversas folhas brancas do mesmo papel (equação 5).

$$Opacidade = \frac{R_0}{R_\infty} \quad \text{[equação 5]}$$

Sendo R_0 o factor de reflectância de uma única folha contra um fundo negro e R_∞ o factor de reflectância de um conjunto de folhas opacas.

O densitómetro mede a opacidade do papel através da luz reflectida, empregando o método da opacidade difusa ou o método da razão de contraste, conforme a norma TAPPI T519. É obtida a luz reflectida de uma superfície assumindo que a luz absorvida é a diferença entre a luz reflectida e a luz que o densitómetro mede. A opacidade é expressa em percentagem. [16-23]

As normas ISO referentes à opacidade são a ISO 2469 e a ISO 2471. [15]

Luminescência

Entende-se por luminescência a “reflexão” de luz de uma folha quando submetida a uma fonte de luz incidente. Relaciona a intensidade do feixe de luz incidente com a do feixe de luz dispersa pelos fenómenos de reflexão, refacção e difracção. É indicada em percentagem e normalizada pela norma ISO 2469. [15-23]

Brilho

O brilho é a capacidade que a superfície de um papel tem de reflectir a luz e é dada pelo grau com que a superfície de um papel reflecte a luz incidente em raios paralelos. A reflectância do papel é medida na região azul do espectro da luz. A determinação do brilho de um papel ou cartão que contenha agentes de branqueamento fluorescente é sensível ao teor de UV da iluminação.

O brilho é atribuído ao papel através da calandragem do mesmo. É indicado em percentagem e normalizado pela CIE considerando D65/10, (que simula a luz do dia) e o observador padrão a 10°, e pela TAPPI segundo a norma TAPPI T480. [15-22]

I.2.4 Propriedades mecânicas

Resistência à tracção

A resistência à tracção indica a força máxima suportada por unidade de largura de um papel ou cartão antes da ruptura, nas condições definidas para o ensaio. É expressa em Newton por metro e segue a norma ISO 1924-2.

É uma propriedade de desempenho importante, por exemplo, quando consideramos a aplicação do papel ou cartolina para a produção de sacos. [15-22]

Rigidez à tracção

Rigidez à tracção é a medida de força necessária para dobrar um papel num determinado ângulo. Um papel com pouca rigidez provoca problemas nos sistemas de “alimentação” das máquinas de impressão, por outro lado níveis de rigidez altos dificultam ou impossibilitam a passagem dos papéis nos sistemas rotativos de impressão ou de acabamento. A unidade de medida é o mNm (miliNewton metro) e as normas a aplicar são a ISO 2493 e a TAPPI T556. [15-22]

Resistência ao rasgo

A resistência ao rasgo é a capacidade que um papel tem de resistir quando é submetido a uma força que o pode rasgar. O comprimento e a interligação das fibras de um papel são determinantes na sua resistência ao rasgo. As fibras mais longas aumentam a resistência de um papel porque tendem a distribuir a pressão, as fibras curtas permitem uma maior concentração da força numa área menor. Em produções com vários níveis de acabamento os papéis deverão ter uma maior resistência ao rasgo. A unidade de medida é o mNm (miliNewton metro) e as normas a aplicar são a ISO 1974 e a TAPPI T414. [15-22]

Resistência à compressão

A resistência à compressão compreende a pressão máxima, exercida na vertical, suportada por uma amostra de papel. Pode ser determinada utilizando o aparelho “*crush tester*”, sendo expressa em kgf (quilograma força).

Esta propriedade é determinante na produção de embalagens. É avaliada a *performance* de resistência do papel ou cartão, através do empilhamento das embalagens para armazenamento, transporte ou exposição no ponto de venda. [15-22]

Resistência ao alongamento

A resistência ao alongamento é a quantidade de distorção que um papel sofre sobre tensão de tracção, que é geralmente maior na direcção transversal da máquina de impressão. Papéis com grande estiramento provocam dificuldades no acerto da impressão de diferentes cores e no acerto da impressão com processos de acabamento.

Para determinar a resistência ao alongamento utiliza-se uma amostra de papel sobre a qual se exerce uma tensão de tracção até ao ponto máximo (antes da ruptura). Posteriormente mede-se o comprimento da amostra e compara-se com o comprimento original. A percentagem de aumento indica o resultado. Os procedimentos a aplicar estão regulados pela norma TAPPI T494. [15-22]

Rigidez ao encurvamento

O encurvamento é causado pela expansão ou contracção desigual dos dois lados de uma folha quando absorve ou perde água/humidade, ou quando é sujeita a tensões e pressões desiguais entre os topos. A rigidez ao encurvamento expressa-se em mNm (miliNewton metro) e é padronizada pela norma ISO 2493. [15-22]

I.2.5 Propriedades físico-químicas

Humidade

O teor de humidade de um papel ou cartão depende das condições de secagem durante o fabrico, de armazenamento e de utilização. Manter uniformes os perfis de humidade é um requisito essencial para garantir uma boa impressão.

A alteração do teor de humidade no papel influencia as propriedades mecânicas, como a resistência ao rasgo, à tracção, à dupla dobra, ao encurvamento, etc. e altera ainda a estabilidade dimensional e a receptividade à tinta. A humidade normalmente situa-se entre 4-10% e é expressa em percentagem. A humidade rege-se pelas normas TAPPI T502 e ISO287. [15-22]

pH

A acidez ou alcalinidade de um papel ou de uma solução aquosa pode ser medida pela escala de pH.⁷

O valor do pH de superfície de um papel pode ser obtido através da leitura de uma fita de papel universal (papel de tornesol) pressionada sobre a superfície do mesmo, numa área previamente “molhada” com água destilada.

O pH da massa de um papel pode ser determinado por potenciometria, ou seja, através da leitura obtida com um potenciómetro de uma solução de água destilada e papel.

Um pH ácido acelera o envelhecimento de um papel, que amarelece e as suas fibras autodegradam-se mais rapidamente. No processo de impressão, um pH ácido retarda a secagem das tintas, o mesmo se verificando com valores baixos (< 4,5) de pH da solução da molha. A norma ISO 6588-1 regula a obtenção do valor de pH do papel. [15-22]

Conteúdo em cargas e/ou aditivos

No processo de fabrico de um papel são adicionadas cargas minerais como o caulim (silicatos hidratados de alumínio), o talco ($Mg_3Si_4O_{10}$), o dióxido de titânio (TiO_2), o carbonato e o sulfato de magnésio e de cálcio ($MgCO_3$, $CaCO_3$, $CaSO_4$), a argila ($Si_2Al_2O_5(OH)_4$), o sulfato de zinco ($ZnSO_4$), etc. com o intuito de aumentar a opacidade e a lisura, estabilizar a brancura, controlar a porosidade / absorção de líquidos, melhorando as características da sua superfície e de resistência mecânicas. No entanto, as cargas em excesso diminuem as resistências mecânicas do papel. É necessário que as cargas adicionadas sejam brancas e quimicamente inertes.

⁷ A 25°C, esta escala varia de 0 a 14, assumindo o ponto neutro em água ao valor 7.

Os aditivos têm a função de aumentar a resistência superficial de um papel, evitando ou diminuindo o desprendimento de partículas da sua superfície durante a impressão; de alterar a cor; de ganhar impermeabilidade e/ou de reter as partículas coloidais e finas das fibras. Os principais aditivos utilizados no fabrico do papel são o amido, resinas e colas, álcool polivinílico, estabilizadores de *pH*, corantes e pigmentos. Por vezes também se aplicam anti-espumantes, dispersantes, aglutinadores ou coagulantes, microbicidas, fungicidas, etc.

Por último os alvejantes ópticos, por exemplo a anilina, que são compostos fluorescentes que têm a função de absorver a radiação UV e re-emiti-la no espectro visível, mais precisamente na faixa do azul, dão a sensação óptica de que o papel está mais branco

A norma ISO 17812 especifica o procedimento para a determinação de magnésio, cálcio, manganês, ferro e cobre por espectrometria de absorção atómica ou de emissão de plasma. Os resultados são expressos em percentagem. [15-22]

A *performance* do papel na impressão é reflexo de características estruturais, ópticas, mecânicas e físico-químicas do papel. Aspectos relacionados com as suas características físico-químicas são de extrema relevância para a imprimibilidade e qualidade do produto impresso. Estas características são por vezes interdependentes mas decorrem também de especificidades conferidas no processo de fabrico.

O desenvolvimento tecnológico dos métodos de impressão, da composição das tintas gráficas e da produção do papel, obrigam a uma avaliação criteriosa dos níveis de qualidade. As informações que o consumidor recebe das papeleiras relativamente às *performances* do papel, são escassas e não são mensuráveis. Grande parte dos catálogos de papéis, apresentam-nos como tendo “*excelente capacidade de impressão*” ou “*níveis de contraste e de definição de impressão ideais*”, classificando-os de forma subjectiva e impedindo comparações válidas entre diferentes papéis.

Pese embora alguns estudos recentes [24-26], actualmente os profissionais da indústria gráfica comparam diferentes papéis, por tentativa e erro e de forma empírica. Os fabricantes medem as capacidades de impressão e resistência dos papéis que produzem, através de ensaios laboratoriais repetitivos, demorados e dispendiosos.

O objectivo primordial deste estudo é o estabelecimento de modelos quantitativos rigorosos que relacionem as propriedades específicas de cada tipo de

papel com a sua imprimibilidade e que permitam efectuar previsões sobre o posterior comportamento/*performance* do papel, de forma a que o fabricante e o impressor/consumidor possam fazer uma avaliação quantitativa, mais rápida e menos onerosa sobre os diferentes tipos de papel disponíveis no mercado.

I.3 Metodologias e técnicas

No presente trabalho foi feito um estudo comparativo de diferentes Relações Quantitativas Estrutura-Propriedade (QSPR) na modelação e previsão da *performance* do papel. Foram analisadas e comparadas as capacidades de previsão e de interpretação de modelos construídos com base em duas metodologias distintas: Regressões Lineares Multiparamétricas e Redes Neurais Artificiais não Supervisionadas (*Self-Organizing Maps*).

I.3.1 Modelação e previsão de propriedades

A construção de modelos que têm por objectivo a descrição, interpretação e previsão de comportamentos é uma das abordagens na análise multivariada de dados.[27] Tal metodologia permite racionalizar fenómenos para os quais se dispõe de um largo conjunto de dados, por vezes dispersos, e de cuja análise *per se* não se retira informação relevante.

Os modelos de regressão são uma das vias mais usuais no estudo de fenómenos que relacionam uma variável dependente (Y) com uma ou um conjunto de n variáveis explicativas (X_i). Inserem-se no domínio das Relações Quantitativas Estrutura-Propriedade e dentro destas as técnicas de Regressão Linear Multiparamétrica e o recurso a Redes Neurais Artificiais são duas das vias de maior sucesso para a racionalização e previsão de comportamentos, características ou propriedades.

Os métodos de classificação permitem a integração e análise de um grande número de variáveis em simultâneo para as quais não existe *a priori* qualquer relação de dependência. Estes métodos visam essencialmente o agrupamento de objectos (dados) em função da sua similaridade de comportamentos, características ou propriedades. As Redes de *Kohonen* (*Self-Organizing Maps*) são uma das técnicas de maior sucesso neste campo.

O desenvolvimento de qualquer modelo clássico QSPR assenta nos seguintes postulados [28-30]:

- (i) as propriedades descritoras são responsáveis pela propriedade observada;
- (ii) os objectos (dados) similares têm propriedades similares;
- (iii) o modelo QSPR estabelecido só se aplica a objectos pertencentes ao mesmo espaço dimensional.

A construção de modelos QSPR ou de classificação envolve 4 fases principais [31-34]:

1) Selecção e construção da matriz de dados

Nesta fase constrói-se a matriz de dados envolvendo os valores da propriedade em estudo (variável dependente, Y_i) bem como o conjunto de descritores (variáveis independentes, X_i) que influenciam a propriedade em estudo.

$$\begin{bmatrix} Y_1 & X_{11} & X_{21} & X_{31} & (\dots) & X_{m1} \\ Y_2 & X_{12} & X_{22} & X_{32} & (\dots) & X_{m2} \\ Y_3 & X_{13} & X_{23} & X_{33} & (\dots) & X_{m3} \\ (\dots) & (\dots) & (\dots) & (\dots) & (\dots) & (\dots) \\ Y_{1n} & X_{2n} & X_{3n} & X_{4n} & (\dots) & X_{mn} \end{bmatrix}$$

2) Selecção e pré-tratamento das variáveis

Nesta fase avalia-se essencialmente a qualidade dos dados que constam da matriz.

Observa-se, normalmente através de análise gráfica (gráficos de dispersão ou de representação directa de X_i), se existem *outliers* – e, caso existam, eles são removidos. Define-se *outlier* como a observação que não segue o mesmo comportamento de um conjunto de outras observações entre as quais se encontra inserida.

Nesta fase inicia-se também o estudo da existência de intercorrelações entre as variáveis independentes, uma vez que se pretende estabelecer relações $Y=f(X_i)$ onde f é uma função linear. É necessário garantir *a priori* a inexistência de intercorrelação entre as variáveis independentes, por forma a evitar informação redundante. É ainda

nesta fase que quando necessário se efectua a transformação de variáveis através de métodos de centralização ou normalização. No presente trabalho para que se pudessem usar os métodos de classificação das Redes Neurais – SOM, as variáveis foram normalizadas [35] entre 0,1 e 0,9 de acordo com a equação 6, onde X_i é a variável independente de partida e Z o resultante valor da variável normalizada:

$$Z = 0,8 \times \frac{X_i - X_{min}}{X_{máx} - X_{min}} + 0,1 \quad \text{[equação 6]}$$

3) Desenvolvimento do modelo

A fase do desenvolvimento do modelo contém três procedimentos fundamentais:

- (i) Selecção dos conjuntos de treino e de teste;
- (ii) Selecção dos descritores;
- (iii) Aplicação de métodos estatístico-matemáticos para a construção do modelo final.

Existem várias técnicas para proceder à escolha de conjuntos de treino e de teste adequados. No presente trabalho foram aplicadas três: a selecção ao acaso, a selecção por observação e a selecção por valor de propriedade (Y_i). No entanto, a divisão dos elementos da matriz de dados em conjuntos de treino e de teste deve ser efectuada de modo a que sejam independentes entre si e ambos representativos de toda a gama de variação da matriz. Idealmente cada elemento do conjunto de teste deve conter na sua vizinhança espacial um elemento pertencente ao conjunto de treino. Usa-se o conjunto de treino apenas para o estabelecimento do modelo e reserva-se o conjunto de teste para avaliar a capacidade preditiva do modelo estabelecido.

Para a selecção dos descritores existem também diferentes métodos. O método de regressão progressiva passo a passo (*forward stepwise regression*) foi o escolhido no desenvolvimento deste estudo, e visa tal como os outros a selecção do conjunto dos descritores que melhor descrevem a propriedade que está a ser estudada.

Uma vez seleccionados os “melhores” descritores, inicia-se a aplicação criteriosa de métodos estatístico-matemáticos. Nas regressões lineares multiparamétricas usou-se a ANOVA (análise de variâncias) e o método dos mínimos

quadrados para a determinação de vários parâmetros estatísticos importantes e dos coeficientes de regressão, tendo esta análise sido aplicada apenas ao conjunto de treino.

4) Validação interna e externa do modelo obtido

Uma vez estabelecido um determinado modelo inicia-se a sua fase de validação, a qual se desenvolve em duas etapas: [36]

- (i) validação interna
- (ii) validação externa

Na validação interna, avalia-se a robustez e a qualidade do modelo encontrado através de análise de resíduos e de avaliação de diferentes testes estatísticos.

No procedimento de análise gráfica de resíduos deve garantir-se que os resíduos são aleatórios e que se distribuem em torno do valor zero.

Seguidamente avaliam-se diferentes testes estatísticos onde se destacam:

- Verificação de existência de *outliers*: devem ser retirados do conjunto os pontos cujos resíduos sejam superiores a duas vezes o desvio padrão do ajuste:

$$|Y_i - \hat{Y}| > 2s$$

onde Y_i é o valor experimental da propriedade em estudo, \hat{Y} o seu valor previsto pelo modelo e s o desvio padrão do ajuste.

- Coeficiente de determinação (R^2) que mede a % da variabilidade da propriedade Y que é explicada pelos descritores X_i . Este parâmetro, que varia entre 0 e 1, deve ser elevado (idealmente $> 0,9$).

- Desvio padrão do ajuste (s), que é uma medida da qualidade do ajuste e reflecte as diferenças entre os valores experimentais e os valores “previstos”. Este parâmetro é tanto melhor quanto menor é o seu valor.

- Teste de Fisher-Snedecor (F), mede a significância do modelo para um determinado nível de confiança, normalmente $> 95\%$.

- Teste t -Student (t), mede a significância dos coeficientes de regressão determinados para um dado intervalo de confiança, normalmente $> 95\%$.

- Y_{exp} versus Y_{prev} deve conduzir a uma relação linear com $m \rightarrow 1$ e $b \rightarrow 0$.

- Teste de validação cruzada, Q^2_{LMO} , (LMO – leave many out) que é traduzido pela expressão:

$$Q^2_{LMO} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{treino} (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{treino} (Y_i - \bar{Y}_i)^2} \quad \text{[equação 7]}$$

onde Y_i são os valores experimentais, \hat{Y}_i os valores previstos e \bar{Y}_i o valor médio de todos os valores das propriedades constantes da matriz (o valor de Q^2_{LMO} deve ser superior a 0,6).

Uma vez terminada a validação interna e no caso de se verificarem todos os critérios anteriores, inicia-se a validação externa onde se procura aferir a capacidade de previsão do modelo.

Nesta fase, usam-se os coeficientes de regressão estimados para o conjunto de treino e os descritores X_i relativos aos elementos do conjunto de teste e são previstos para estes os valores da propriedade em estudo. Estes valores são comparados com os seus homólogos experimentais e é efectuada simultaneamente uma verificação estatística que deve obedecer aos critérios seguintes:

- $R^2 > 0,6$
- $0,85 < m < 1,15$
- $\frac{R^2 - R_0^2}{R^2} < 0,1$ [equação 8]

- $Q^2_{LMO} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{teste} (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{teste} (Y_i - \bar{Y}_i)^2} > 0,5$ [equação 9]

onde Y_i e \hat{Y}_i têm o mesmo significado que anteriormente mas dizem respeito ao conjunto de teste e \bar{Y}_i é o valor médio dos elementos do conjunto de treino.

I.3.2 Relações lineares multiparamétricas (RLM)

Uma relação linear multiparamétrica (RLM) assume a seguinte forma: [37]

$$Y_i = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + \dots \quad \text{[equação 10]}$$

onde Y_i representa a variável dependente e X_i são as variáveis independentes (ou explicativas), a_0 é o termo independente (ordenada na origem) e a_i os respectivos coeficientes de regressão associados às variáveis independentes.

Os coeficientes a_i podem ser determinados com recurso ao método dos mínimos quadrados o qual tem subjacente um conjunto de assumpções que devem ser verificadas e garantidas: a amostra deve ser representativa da população para efeitos de previsão por inferência; as variáveis independentes assumem-se como isentas de erro; o erro associado à variável dependente é ele próprio entendido como uma variável aleatória com média nula; os resíduos são aleatórios seguindo uma distribuição normal com média nula e variância constante (homoscedasticidade). [37]

Uma relação linear multiparamétrica usada num contexto de QSPR assenta ela própria nas assumpções de **aditividade**, de **independência** e de **causalidade**: assim, num modelo RLM assume-se que as variáveis explicativas são aditivas e independentes entre si e que são, elas próprias, a causa do efeito observado na variável dependente. [38]

Vantagens e limitações das RLM

Apesar da aplicação abrangente desta abordagem a vários campos do conhecimento, ela contém certas fragilidades que devemos ter presente no desenvolvimento e manipulação de modelos QSPR-RLM:

A regressão linear multiparamétrica origina um modelo estatístico que pode produzir resultados eficazes apenas quando a relação entre Y e X_i 's é, pelo menos, aproximadamente linear. Consequentemente, esta metodologia mostra-se muitas vezes inapropriada quando se está em presença de relações (não lineares) de maior complexidade.

Por outro lado, nos fenómenos mais complexos é normal associar-se a uma determinada resposta um conjunto extenso de propriedades que a expliquem, *i.e.*, intervirem várias variáveis explanatórias na descrição/interpretação de Y . Este maior

número de descritores intervenientes na equação aumenta o risco de multicolinearidade e sobreparametrização entre as variáveis independentes.

Os modelos QSPR assentes em equações derivadas por RLM devem ainda obedecer a dois pressupostos: o tamanho da matriz de dados amostral deve ser tal que sejam minimizados os efeitos de correlação fortuita – alguns autores consideram que o número de observações experimentais deverá ser, no mínimo, 4 vezes maior que o número de descritores envolvidos [37]; por fim, por melhor que seja o modelo QSPR-RLM, as considerações e previsões que dele derivam só serão válidas no seu domínio de aplicabilidade [31-34].

Não obstante as limitações mencionadas, a vasta aplicação da metodologia das regressões lineares multiparamétricas no estudo de relações QSPR em áreas muito distintas [39], prende-se com a facilidade de construção dos modelos e com a sua capacidade interpretativa. As suas principais vantagens podem agrupar-se em 3 categorias:

- (i) O estabelecimento de um modelo matemático, atractivamente simples e de fácil apreensão, entre a propriedade traduzida por Y e um conjunto de propriedades/variáveis descritas por X_i ;
- (ii) O estabelecimento de uma RLM entre uma propriedade e um conjunto de descritores permite, ao contrário do que sucede com outras abordagens QSPR, a rápida identificação de propriedades relevantes, directamente responsáveis por um dado comportamento do sistema, no presente trabalho pela *performance* dos papéis;
- (iii) As particularidades descritas nos dois pontos anteriores são de enorme importância na interpretação/explicação do fenómeno em estudo.

I.3.3 Redes neuronais

Recentemente, emergiu uma nova metodologia na procura de relações estrutura-propriedade, ancorada na simulação do processamento de informação a nível cerebral - as Redes Neuronais Artificiais (RNA). [35, 39, 40, 41] A maior vantagem das RNA reside na sua capacidade de lidar com relações não lineares de alta complexidade quando executam as transformações *input-output*.

As Redes Neurais Artificiais têm por objectivo o desenvolvimento de algoritmos matemáticos que simulam o processo de aprendizagem a partir da informação processada (figura 5).

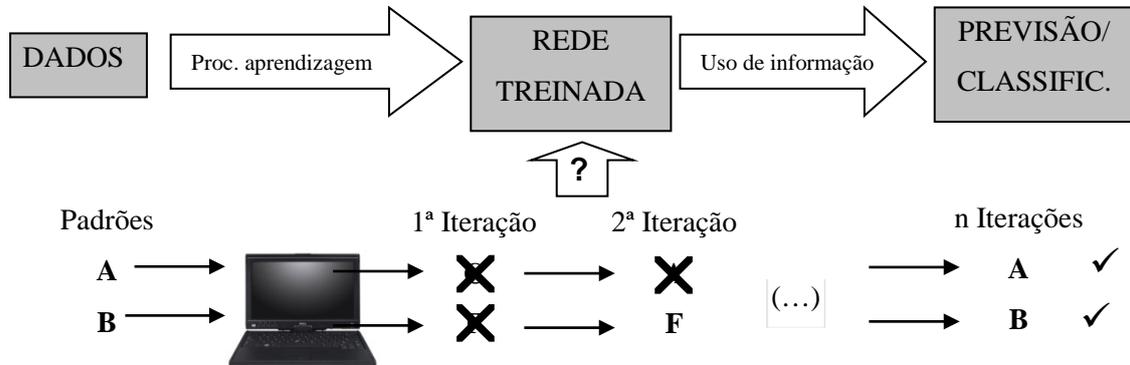


Figura 5: Esquemática do processo de desenvolvimento das Redes Neurais Artificiais. [42]

As RNA “aprendem com a experiência”, uma vez que na fase de treino produzem sucessivos “ajustamentos” em cada iteração, tais como: a modificação da arquitectura da rede, o ajuste de pesos e a eliminação ou criação de nodos.

Na actividade cerebral, os neurónios biológicos são células especializadas na recepção, condução e transmissão do impulso nervoso, assegurando a recepção de estímulos provenientes de outras células, assim como a resposta do corpo a esses mesmos estímulos. À semelhança do funcionamento de um neurónio biológico, nas RNA o neurónio artificial é uma estrutura lógico-matemática que procura simular as funções da actividade cerebral (figura 6).

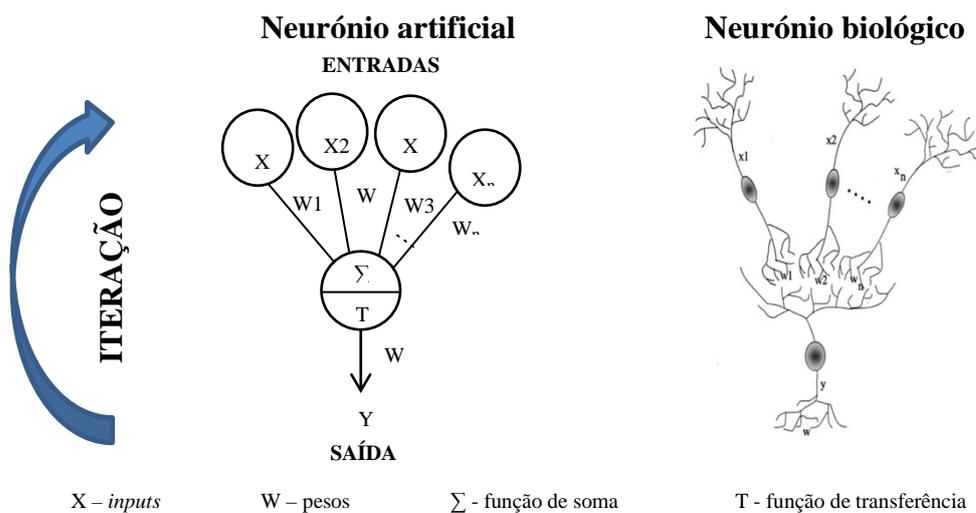


Figura 6: Funcionamento das RNA à semelhança das RNN⁸. (Adaptado de [42])

⁸ Redes neuronais naturais.

A tabela 2 faz a analogia entre RNA e RNN.

Tabela 2: Analogia entre RNA e RNN.

RNN	RNA
<ul style="list-style-type: none">• dendrites• ligação entre axónios• sinapses• actividade celular	<ul style="list-style-type: none">• <i>inputs</i>• ligação entre nodos• pesos• função de activação

Uma RNA é formada por vários neurónios, as diferentes possibilidades de conexões entre as camadas de neurónios podem gerar n números de estruturas diferentes. As variantes de uma RNA são as seguintes:

- conexões entre camadas
- camadas intermédias
- quantidade de neurónios
- função de transferência
- algoritmo de aprendizagem

No presente trabalho foi usado o pacote software JATOON: Java Tools for *Neural Networks*, desenvolvido por Aires-de-Sousa [43];

A escolha de duas metodologias QSPR's (RLM e RNA) no estabelecimento de modelos de previsão visa, por um lado comparar as suas *performances* e, por outro, corroborar por uma via independente, as conclusões obtidas através dos modelos de regressão linear multiparamétrica.

Redes de Kohonen

Os *Kohonen Self Organizing Maps* (SOM) foi a metodologia escolhida no desenvolvimento das RNA (figura 7).

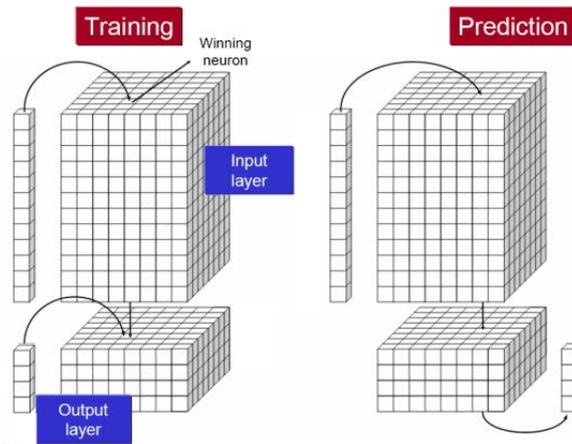


Figura 7: Arquitectura e Processamento SOM. [42]

Uma rede SOM [43] é um método de classificação que agrupa elementos tendo por base a sua similaridade. Essa semelhança é traduzida pelo conjunto dos descritores (variáveis independentes) que caracterizam cada elemento.

O processamento interno de uma rede SOM é baseado nos seguintes 4 passos:

(i) Distância Euclidiana

É calculada a Distância Euclidiana de acordo com a equação 11, entre os dados de entrada (conjunto de descritores) e todos os neurónios, sendo cada neurónio um vector no espaço de entrada.

No mapeamento de uma rede SOM, a distância entre os neurónios na rede corresponde ao grau de similaridade entre cada elemento.

$$Out_j = \left\{ \sum_{i=1}^n (X_{si} - W_{ji})^2 \right\} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad \text{[equação 11]}$$

sendo j um neurónio, W o seu peso, X um *input*, ou seja, um dado de entrada e Out um *output* ou seja, um resultado ou dado de saída.

(ii) Neurónio Vencedor

Os *outputs* são comparados com todos os neurónios e o mais próximo é considerado o Neurónio Vencedor (equação 12).

$$Out_c = \min(out_1, out_2, \dots, out_n) \quad \text{[equação 12]}$$

(iii) Correção de pesos e vizinhanças

Após a escolha do Neurónio Vencedor, o seu peso é corrigido para que se torne ainda mais similar ao elemento em causa, podendo afirmar-se que o neurónio vencedor é activado por esse elemento. O mesmo acontece aos neurónios vizinhos. A extensão dessa activação está dependente da proximidade ao Neurónio Vencedor, sendo o ajuste maior quanto maior for a proximidade (equação 13).

$$W_{ji}^{novo} = W_{ji}^{ant} + \eta(t)a(d_c - d_j)(X_i - W_{ji}^{ant}) \quad \text{[equação 13]}$$

onde $d_c - d_j$ determina a distância entre o neurónio vencedor e o neurónio em estudo; $\eta(t)a$ o nº de iterações, ou seja, o nível de aprendizagem; W o peso de cada neurónio e X um dado descritor.

(iv) Correção de pesos na camada *output*

Os pesos do neurónio vencedor e dos seus vizinhos voltam a ser ajustados de modo a ficarem mais próximos do padrão de dados que representam.

$$c_{ji}^{novo} = c_{ji}^{ant} + \eta(t)a(d_c - d_j)(Y_i - c_{ji}^{ant}) \quad \text{[equação 14]}$$

sendo Y uma propriedade em estudo; e c o valor de *output*.

Vantagens e limitações das RNA

Como referimos antes, as RNA têm tido um enorme sucesso, podendo as suas principais vantagens, em particular relativamente aos métodos estatísticos tradicionais dividir-se em quatro aspectos [44-52]:

- (i) **Carácter adaptativo** – as RNA têm a capacidade de aprender directamente a partir de informação contida nos dados de entrada e identificam padrões que existam entre as variáveis independentes e a variável dependente. Através destas aptidões podem apreender relações subtis e muito complexas e formulam soluções sem a necessidade de modelos matemáticos pré-definidos ou de algoritmos que relacionem a(s) variável(eis) dependente(s) e as variáveis explanatórias. Por outro lado, a

eventual colinearidade entre as variáveis independentes não é um aspecto problemático, uma vez que os pesos atribuídos pela rede a variáveis que se mostrem irrelevantes, são negligenciáveis. Acresce que, ao contrário do que sucede nos modelos de regressão, as RNA são praticamente insensíveis à presença de *outliers*. As RNA têm ainda a capacidade de lidar eficazmente com *handling noisy data* ou ainda dados incompletos.

- (ii) **Carácter evolutivo** – à medida que o treino de uma RNA avança e novos elementos de treino são apresentados à rede, ela é capaz de extrair mais informação relevante e produzir soluções (previsões) com maior rigor. Ao contrário, os modelos de regressão tradicionais são estáticos na medida em que não alteram a sua natureza ou o seu algoritmo à medida que o treino avança e conseqüentemente a sua “aprendizagem” não evolui com o treino.
- (iii) **Carácter de generalização** – uma vez treinada, a rede usa o conhecimento adquirido para relacionar e prever o comportamento de objectos desconhecidos. No caso particular das *Back Propagation Neural Network* (BPNN) a combinação de um grande número de conexões ajustáveis entre os neurónios e de várias funções de transferência implementadas permite a este tipo de redes a modelação de fenómenos de elevada complexidade.
- (iv) **Carácter objectivo** – as RNA têm ainda a capacidade de associar directamente os dados de entrada com os resultados de saída (previsões) sem qualquer interferência subjectiva do operador ou de artifícios matemáticos pré-concebidos.

Apesar da sua óbvia relevância, esta ferramenta não é isenta de limitações. [45-54] Neste âmbito são de realçar 3 aspectos:

- (i) **Carácter interpretativo** - Um modelo produzido por uma RNA descreve apenas associações (entre *inputs* e *outputs* produzidos) mas não as “relações causais” entre entrada e saídas de dados. Conseqüentemente, o seu procedimento não é transparente e vários autores [48-52] consideram-nas “caixas negras”.
- (ii) **Overfitting** – Uma vez que as conexões-pesos são parâmetros ajustáveis, um elevado número de conexões em relação à dimensão do conjunto de

treino (número de pontos) pode aparentemente resultar em melhores ajustes devido a problemas de *overfitting* e de “memorização” de dados.

- (iii) ***Overtraining and chance effects*** – A passagem repetitiva dos mesmos elementos durante o treino da rede (elevado número de ciclos de iteração) pode ocasionar boas *performances* na descrição do conjunto de treino mas originar capacidades de previsão pobres.

Vários autores [53, 55] têm sugerido o uso do parâmetro r a fim de minimizar os efeitos de correlações fortuitas e de *overtraining*, em particular aquando do recurso a BPNN:

$$\rho = \frac{N^{\circ} \text{ dados}}{N^{\circ} \text{ conexões}} \quad \text{[equação 15]}$$

Valores de $r < 1,8$ são apontados como promotores de modelos RNA que memorizam os dados (*overfitting*) e com pobre capacidade de previsão, enquanto valores de $r > 2,2$ são referidos como correspondendo a um n° de conexões⁹ insuficientes para extrair toda a informação relevante do conjunto de treino.

Um dos aspectos que merecem mais atenção no desenvolvimento de um modelo RNA é encontrar o número de ciclos adequado que evite o *overtraining*. O método mais comum para este efeito é conhecido por “*early stopping*” [53], onde durante o treino se recorre em simultâneo a um conjunto de controlo cujo mínimo da medida de erro em uso determina o número de ciclos que deverá ser escolhido.

Assim, a arquitectura da rede, o número de iterações escolhido, a dimensão dos conjuntos de treino e os parâmetros pré-definidos pelo operador são alguns dos aspectos que determinam a *performance* preditiva e a velocidade de aprendizagem das redes.

Como em qualquer outra metodologia QSPR, os modelos gerados a partir de RN necessitam de procedimentos de validação rigorosos que garantam as suas capacidades de previsão e de generalização.

⁹ O n° de conexões numa BPNN é dado por $(I+1)H+(H+1)O$, onde I, H e O representam o número de neurónios nas camadas de *input*, *hidden* e *output*, respectivamente.

CAPÍTULO II – PARTE EXPERIMENTAL

II.1 População alvo e amostras

A população alvo deste estudo foram os papéis para impressão *offset* e/ou digital com diferentes características e funções, como papéis estucados e não estucados de diferentes fabricantes, para impressão de revistas, livros, jornais, embalagens, rótulos ou formulários.

A amostra escolhida totaliza 286 papéis e cartolinas de 12 fabricantes, cujas 25 características e propriedades colectadas garantem a sua representatividade e homogeneidade.

Os dados contidos neste estudo foram facultados pelos seguintes fabricantes e distribuidores:

- Fabricantes - Grupo Portucel Soporcel, Arjo Wiggings, M Real, UPM Kymmene, Ziegler Papiers, StoraEnso, Bolloré, Grycks, Scheufelen, Burgo, Marchi e Zanders.
- Distribuidores – Torraspapel Portugal, Inapa Portugal e Antalis Portugal.

II.2 Recolha de dados e construção da matriz

Foi construída uma matriz de dados inicial com 286 papéis e cartolinas diferentes, de 12 fabricantes e 25 propriedades estruturais, ópticas, mecânicas e físico-químicas distintas. Os dados foram recolhidos a partir de informação cedida pelos fabricantes/distribuidores, com base na qual foram calculadas diferentes propriedades de papéis. A matriz de dados foi complementada com determinações experimentais (potenciométricas e densitométricas).

A recolha de informação / dados junto de fabricantes e distribuidores ocorreu durante os meses de Janeiro a Outubro de 2009 e processou-se por recolha directa ou por envio electrónico de uma mensagem precedido de entrevista.

Apresenta-se no Anexo 1 a matriz de dados mencionados: a preto encontram-se os dados recolhidos de literatura de fabricantes; a azul os dados calculados com base nos primeiros e a verde os dados determinados experimentalmente.

II.3 Determinações laboratoriais

As determinações experimentais deste trabalho foram realizadas nos laboratórios de química do ISEC, entre Fevereiro e Junho de 2010.

A amostra escolhida compreende papéis estucados com acabamento brilho e mate de diferentes gramagens, representativa dos papéis estucados mais utilizados na impressão *offset* e sobre os quais tivemos acesso a amostras físicas e dados fornecidos pelo fabricante. Foram utilizados 10 papéis CreatorGala Couché premium 2 faces brilhante com gramagem entre 115 e 350 g/m² e 9 papéis CreatorGala matt Couché premium 2 faces mate com gramagem entre 90 e 350 g/m². As 3 propriedades escolhidas para determinação laboratorial – a opacidade e o pH de superfície e de massa - têm uma grande implicação na imprimibilidade dos papéis conforme mencionado anteriormente. Relativamente à opacidade obtivemos alguns dados do fabricante o que possibilitou a comparação dos mesmos com os valores determinados experimentalmente, foram adicionados à matriz de dados os valores obtidos em laboratório de pH de superfície e de massa nos 19 papéis em causa, ficando os mesmos com 12 propriedades possíveis de serem estudadas.

II.3.1 Potenciometria

A potenciometria é um método de análise química que permite a determinação do pH de uma solução.

O pH de uma solução é definido como:

$$\text{pH} = - \log (a_{\text{H}^+}) \quad [\text{equação 16}]$$

onde a_{H^+} representa a actividade dos hidrogeniões.

Em soluções de concentração baixa, os valores da actividade aproximam-se dos valores da concentração, pelo que o pH pode ser expresso pela seguinte equação (equação 17).

$$\text{pH} = - \log [\text{H}^+] \quad [\text{equação 17}]$$

onde $[\text{H}^+]$ representa a concentração dos hidrogeniões expressa em moles por litro de solução (mol dm⁻³).

O pH pode ser determinado com um medidor de pH , aparelho electroquímico que consiste num eléctrodo associado a um potenciómetro, e que inclui um milivoltímetro com uma escala que converte o valor de potencial do eléctrodo em unidades de pH .

A determinação do pH de uma solução é obtida pela diferença de potencial entre o eléctrodo indicador (de vidro – selectivo a iões H^+ e com um potencial directamente dependente do pH da amostra) e o eléctrodo de referência (com um potencial conhecido e constante). Essa diferença de potencial é proporcional à actividade dos iões H^+ , conforme expressa na equação de Nernst. [56]

Neste trabalho, a medição do pH da massa dos papéis analisados foi obtida com um potenciómetro da marca Crison, modelo pH meter GLP22, operacional numa gama entre -2 e 16 unidades de pH (u. pH) com uma solução ajustável entre 0,1 e 0,001 u. pH , com um erro menor que 0.005 u. pH , funcional entre -20 e 150 °C, e com um sistema automático de compensação de temperatura durante as medições. Foi também usado um eléctrodo da marca Crison, com um sistema de referência Ag/AgCl, operacional numa gama de 0 a 12 unidades de pH e num intervalo de temperatura de 0 a 80 °C (figura 8).

A calibração inicial do eléctrodo foi efectuada com soluções tampão da marca Crison com pH 7 e 4.



Figura 8: Análises potenciométricas: determinação do pH da massa do papel.

Procedimentos

Para a obtenção de valores de pH do papel foi efectuado o corte e pesagem das amostras de cada papel e foram efectuados 245 ensaios experimentais para a determinação do pH superficial e da massa.

pH superficial

Foi adicionada uma gota de água destilada a cada amostra do papel, aguardou-se 10 segundos e de seguida colocou-se uma fita de papel universal, papel de tornesol, sobre a área do papel que por sua vez absorveu a água, e por último foi registada a leitura do pH indicado na fita. Por cada papel foram cortadas 2 amostras e por cada amostra foram realizados 6 ensaios, em zonas distintas do papel (figura 9).



Figura 9: Determinação do pH da superfície do papel utilizando papel de tornesol.

pH da massa

A medição do pH da massa foi obtida com o potenciómetro acima descrito. As amostras de papel foram cortadas com aproximadamente 3x3 cm de modo a garantir uma massa constante de papel. Cada amostra do papel foi dissolvida em 30cm³ de água destilada. A solução sobrenadante foi decantada e as leituras foram efectuadas introduzindo-se o eléctrodo num recipiente com a amostra até à estabilização da leitura - indicada pelo aparelho com um sinal sonoro. Nessa altura lia-se o valor final de pH .

Cada leitura demorou em média 25 segundos e foi intercalada com a lavagem do eléctrodo com água destilada entre cada medição. Por cada papel foram cortadas 2 amostras e por cada amostra foram realizados 6 ensaios.

Registo dos resultados

Apresentam-se em anexo (Anexo 2) os resultados experimentais completos.

Sistematizamos na tabela seguinte (tabela 3) as médias dos valores de pH para os papéis analisados.

Tabela 3: Valores médios e desvios padrão relativos ao pH superficial e ao pH da massa dos papéis analisados.

Papel	pH superficial	pH massa
Brilhante 115 g/m ²	7,50 ± 0,00	8,92 ± 0,05
Brilhante 125 g/m ²	7,50 ± 0,00	8,64 ± 0,04
Brilhante 135 g/m ²	7,50 ± 0,00	9,14 ± 0,41
Brilhante 150 g/m ²	7,50 ± 0,00	9,14 ± 0,05
Brilhante 170 g/m ²	7,50 ± 0,00	9,08 ± 0,06
Brilhante 200 g/m ²	7,50 ± 0,00	9,02 ± 0,03
Brilhante 225 g/m ²	7,50 ± 0,00	9,04 ± 0,05
Brilhante 270 g/m ²	7,50 ± 0,00	8,86 ± 0,00
Brilhante 300 g/m ²	7,50 ± 0,00	8,77 ± 0,06
Brilhante 350 g/m ²	7,50 ± 0,00	8,94 ± 0,11
Mate 90 g/m ²	7,50 ± 0,00	9,05 ± 0,11
Mate 100 g/m ²	7,50 ± 0,00	9,20 ± 0,02
Mate 115 g/m ²	7,50 ± 0,00	9,26 ± 0,11
Mate 135 g/m ²	7,50 ± 0,00	9,10 ± 0,04
Mate 150 g/m ²	7,50 ± 0,00	9,41 ± 0,03
Mate 170 g/m ²	7,50 ± 0,00	9,27 ± 0,02
Mate 200 g/m ²	7,50 ± 0,00	9,21 ± 0,03
Mate 300 g/m ²	7,50 ± 0,00	9,02 ± 0,02
Mate 350 g/m ²	7,50 ± 0,00	9,12 ± 0,04

II.3.2 Densitometria de cor

A densitometria de cor é um método de análise que permite obter a leitura métrica de densidade óptica de um corpo sobre um suporte negativo (negro) e sobre um suporte opaco, servindo dessa forma para a determinação da opacidade do papel.

Determina-se a opacidade através da relação entre a reflectância (quantidade de luz reflectida) difusa de uma folha de papel apoiada sobre fundo preto e a reflectância difusa da mesma folha apoiada sobre um fundo branco ou sobre diversas folhas brancas do mesmo papel (equação 5).

$$Opacidade = \frac{R_0}{R_\infty} \quad \text{[equação 5]}$$

sendo R_0 o factor de reflectância de uma única folha contra um fundo negro e R_∞ o factor de reflectância de um conjunto de folhas opacas. A determinação dos valores de reflectância pode ser obtida por um densitómetro de reflexão. A densidade é calculada pelo densitómetro utilizando a seguinte equação:

$$Densidade = \log_{10} 1/R \quad \text{[equação 18]}$$

R= reflectância

Na determinação da opacidade dos papéis analisados foi utilizado, neste estudo, um espectrodensitómetro, da marca X-Rite, modelo 508, instrumento fotoeléctrico que permite uma abertura de medição desde o microponto 1.6x3.2mm até 6.0 mm.

Procedimentos

Foi determinada a opacidade, através da medição com o espectrodensitómetro acima descrito, da luz reflectida pela amostra sobre um fundo negro e nova leitura sobre um fundo branco opaco, tendo a amostra sido sobreposta sobre uma resma do mesmo papel. Foram analisadas 2 amostras por cada papel e realizados no mínimo 7 ensaios por cada amostra.

Registo dos resultados

Expomos na tabela 4 os valores de opacidade obtidos para o papel Creator Gala. Incluímos no Anexo 2 os resultados experimentais completos relativos à determinação desta propriedade.

Tabela 4: Valores médios e desvios padrão relativos à opacidade dos papéis analisados.

Papel	Índice de Opacidade (%)
Brilhante 115 g/m ²	81,82 ± 0,00
Brilhante 125 g/m ²	87,10 ± 0,00
Brilhante 135 g/m ²	88,48 ± 0,16
Brilhante 150 g/m ²	89,14 ± 0,18
Brilhante 170 g/m ²	n.d.
Brilhante 200 g/m ²	90,71 ± 1,01
Brilhante 225 g/m ²	92,15 ± 0,85
Brilhante 250 g/m ²	n.d.
Brilhante 270 g/m ²	97,08 ± 0,03
Brilhante 300 g/m ²	100 ± 0,00
Brilhante 350 g/m ²	n.d.
Mate 90 g/m ²	96,81 ± 0,38
Mate 100 g/m ²	97,81 ± 0,14
Mate 115 g/m ²	98,14 ± 0,29
Mate 135 g/m ²	98,73 ± 0,25
Mate 150 g/m ²	n.d.
Mate 170 g/m ²	99,32 ± 0,29
Mate 200 g/m ²	100,00 ± 0,00
Mate 300 g/m ²	n.d.
Mate 350 g/m ²	100,00 ± 0,00

n.d.: Não determinado.

Nota: Não foram determinados os valores de opacidade nos papéis Creator Gala Brilho de 170g/m², de 250 g/m², de 350g/m² e nos papéis Creator Gala mate de 150 g/m² e de 300 g/m² devido à inexistência de *stock* dos mesmos no distribuidor durante o período em que foram efectuadas as determinações experimentais.

CAPÍTULO III – TRATAMENTO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Características acídicas do papel

As características ácidas ou básicas do papel são das propriedades mais importantes responsáveis pelo comportamento do papel impresso. Tais características, que resultam de diferentes passos e constituintes adicionados durante o fabrico, são essencialmente devidas aos processos de colagem interna e superficial do papel.

Na colagem interna, os agentes de colagem são adicionados à massa do papel durante o seu processo de fabrico. O propósito da colagem interna é reduzir ou retardar a penetração de água e outros fluidos no interior do papel, sem contudo o impermeabilizar.

Papéis não colados internamente absorvem água muito rapidamente. Os papéis utilizados na impressão *offset*, sobretudo os papéis não revestidos, devem, necessariamente, ter **colagem interna** por diversas razões: [17, 21]

- (i) Papéis *offset* não-revestidos devem ter colagem interna elevada para minimizar a absorção de água devido às repetidas exposições à solução de molha durante o processo de impressão;
- (ii) A absorção de água excessiva enfraquece as ligações entre as fibras e causa arrancamento provocando variação dimensional e encanoamento excessivo;
- (iii) A colagem interna permite minimizar a penetração de adesivos/colas mantendo os mesmos nas camadas mais superficiais dos papéis facilitando assim a produção de envelopes, caixas, sacos e as operações de rotulagem e etiquetagem.

A colagem superficial resulta da aplicação de substâncias que formam uma película na superfície das folhas de papel, na fase de acabamento, com o intuito de aumentar a resistência superficial da folha formada, evitando ou diminuindo o desprendimento de partículas durante a impressão.

A colagem interna é o principal factor de interferência no controle de penetração de líquidos, como já foi dito. É importante para o gráfico/impressor conhecer essa característica, pois, num papel pouco colado e muito poroso, com

valores altos de permeabilidade ao ar, poderá ocorrer a migração da tinta de uma face para a outra da folha durante a impressão, causando o repinte, além do excesso de ganho de ponto devido à penetração excessiva da tinta no papel. Por outro lado, num papel muito colado e/ou muito liso, poderá acontecer um aumento no tempo de secagem da tinta, causando o decalque no impresso.

O papel é ácido quando a colagem interna é efectuada em meio ácido ($pH = 4,0$ a $5,0$) com adição de cola à base de breu, sulfato de alumínio e, geralmente, caulim como carga mineral, mencionando apenas os principais aditivos [57].

No papel alcalino, a colagem interna é efectuada em meio alcalino ($pH = 7,5$ a $8,5$), com adição de colas sintéticas — ASA (anidrido alquenil succínico) ou AKD (dímero de alquil ceteno) — e carbonato de cálcio precipitado como carga mineral.

Os papéis livres de ácido evitam o amarelecimento e a autodegeneração das fibras.

As vantagens da utilização do papel alcalino são as seguintes: aumento da reflexão de luz difusa no azul (alvura ISO); aumento da brancura; menor higroexpansividade; maior volume específico aparente; maior planicidade; maior resistência mecânica; menor abrasividade; melhor ancoragem das tintas de impressão; menor tempo de secagem das tintas de impressão; menor tendência ao *blister* nos papéis/cartões revestidos; maior *Shelf Life* [57].

No que diz respeito às desvantagens da utilização do papel alcalino, constata-se que o maior problema é o aparecimento de pontos brancos nas chapas e blanquetas das impressoras *offset*. Esses pontos brancos são chamados *milking* e são decorrentes da reacção entre o carbonato de cálcio contido no papel e a solução de molha, ocasionando mais paragens de máquina para limpeza.

Os papéis alcalinos são geralmente de qualidade superior relativamente aos ácidos. Têm maior durabilidade e maior opacidade e são ecologicamente mais amigáveis.

Os papéis alcalinos não revestidos contêm maior proporção de cargas logo são menos absorventes e ancoram melhor as tintas de impressão tornando as cores impressas mais saturadas e vivas. Os seus maiores problemas situam-se ao nível da secagem e decalque e da baixa resistência à humidade. [17, 21, 57]

Os 19 papéis analisados (tabela 4) são revestidos e da marca Creator Gala com acabamento *Brilhante* e *Mate* e têm características alcalinas tanto superficialmente como na sua massa.

Os papéis Creator Gala Brilhante e Mate apresentam o mesmo valor de pH superficial (7,5) ligeiramente alcalino. O processo de calandragem que confere o brilho ao papel parece assim não interferir nas características acídicas superficiais do papel.

Os papéis Creator Gala Brilhante e Mate apresentam características intrínsecas básicas com valores similares de pH de massa, oscilando este parâmetro entre 8,64 e 9,14 nos papéis com Brilho e entre 9,05 e 9,41 nos papéis Mate. Assim, o processo de colagem deste papel deverá ter ocorrido em meio alcalino com a adição de colas sintéticas.

Como mostram os resultados da tabela 4, as características acídicas/básicas do papel são independentes da sua gramagem e do seu tipo de acabamento.

Opacidade do papel

A opacidade é a maior ou menor resistência que o papel oferece ao ser atravessado pela luz. Quanto **menor** for a quantidade de luz transmitida por ele, **maior** é a sua opacidade [22].

Se um papel é heterogêneo na sua estrutura (por ex. com muito espaços vazios no seu interior) a luz ao atravessá-lo encontra vários meios onde sofrerá reflexões sucessivas e pouca transmissão. Conseqüentemente, pouca quantidade de luz chegará ao lado oposto e assim o papel será mais opaco.

Um papel com espaços vazios na sua estrutura, com mão¹⁰ elevada e pouco denso terá uma boa opacidade e será mais indicado para impressão em ambas as faces. É o caso do papel de jornal. Um papel muito denso, com pouca mão e muito compactado terá baixa opacidade.

No campo da impressão gráfica a opacidade¹¹ é também a capacidade de um papel receber tinta sem que esta seja vista do outro lado ou a capacidade da folha para inibir a observação de caracteres quando sobreposta com outra folha. [22]

¹⁰ Característica do papel que relaciona a sua espessura com a sua gramagem. O papel “tem mão” quando aparenta ao tacto uma espessura elevada para a gramagem que possui. O índice de mão em (g/cm^3) calcula-se pela divisão da espessura (μm) pela gramagem (g/m^2).

¹¹ Distingue-se opacidade visual - que é a opacidade de uma folha não impressa - de opacidade impressa - que é a opacidade da folha impressa.

Se o papel não é suficientemente opaco, o leitor terá sua atenção desviada pelo material impresso que transparece do outro lado, que é a chamada "transparência".

A opacidade visual pode ser medida com precisão por um opacímetro e é expressa em termos de percentagem, sendo 100% o nível de opacidade total. Nenhum papel para impressão é 100% opaco, mas alguns têm valores próximos dessa percentagem. A opacidade impressa apresenta-se como um problema diferente: como alguns papéis absorvem mais tinta do que outros (a tal ponto que a tinta aparece no outro lado da folha, condição essa chamada "penetração"), é possível dois papéis terem a mesma opacidade visual mas diferentes opacidades impressas.

A opacidade impressa é afectada pela retenção da tinta pelo papel, ou seja, pela capacidade de um papel reter a tinta na sua superfície, em vez de absorvê-la. Quanto maior a retenção da tinta pelo papel, maior é a opacidade impressa. A opacidade impressa não pode ser medida em termos de percentagem, mas somente pelo grau de penetração presente na folha impressa, e é normalmente referida como alta, média ou baixa. [19, 22]

A opacidade é afectada pelo peso e pelo corpo do papel. Quanto mais pesado e volumoso, maior é o número de fibras a retardar a passagem da luz, portanto maior é a sua opacidade. Assim, o grau de opacidade depende de diversas propriedades do papel: composição fibrosa e não-fibrosa, alvura, tonalidade, gramagem, espessura, etc.

Pigmentos e anilinas escuros adicionados ao papel aumentam sua opacidade visto que absorvem luz. A pasta mecânica e fibras não branqueadas também absorvem luz e, portanto, aumentam a opacidade do papel. Cargas minerais dispersam a luz e aumentam a opacidade do papel. A transparência do impresso pode ser o resultado da falta de opacidade do papel ou do atravessamento causado por excessiva penetração da tinta no papel, ou ainda uma combinação das duas coisas. A falta de opacidade, ou transparência, reduz o contraste do impresso.

Um papel completamente opaco não permite a passagem da luz; quando tem baixa opacidade, a imagem impressa num dos lados interfere no resultado impresso no verso da folha, o que prejudica a leitura e altera as cores; as fibras de celulose são transparentes por natureza, porém causam a difusão da luz que atravessa a folha de papel; as cargas minerais (caulim, carbonato de cálcio, dióxido de titânio) aumentam a opacidade do papel, embora promovam a redução das propriedades mecânicas; a opacidade diminui com o aumento da refinação e da calandragem. [19, 22, 57]

No papel para impressão é normalmente exigido elevada brancura para maior legibilidade e contraste de cores. É também exigido elevada opacidade pelas razões atrás apontadas.

Foram determinadas as opacidades experimentais de 15 papéis Creator Gala Brilhante e Mate de diferentes gramagens (tabela 4).

A tabela 5 compara os valores obtidos experimentalmente com a opacidade declarada pelo fabricante em função do tipo e gramagem do papel.

Tabela 5: Valores de opacidade experimentais e declarados pelo fabricante de papéis Creator Gala

Papel	Opacidade (%)	
	Experimental	Fabricante
Brilhante 115 g/m ²	81,82	92,50
Brilhante 125 g/m ²	87,10	93,50
Brilhante 135 g/m ²	88,48	94,50
Brilhante 150 g/m ²	89,14	96,00
Brilhante 170 g/m ²	n.d.	97,00
Brilhante 200 g/m ²	90,71	98,00
Brilhante 225 g/m ²	92,15	98,00
Brilhante 250 g/m ²	n.d.	98,50
Brilhante 270 g/m ²	97,08	99,00
Brilhante 300 g/m ²	100,00	99,50
Brilhante 350 g/m ²	n.d.	99,50
Mate 90 g/m ²	96,81	93,00
Mate 100 g/m ²	97,81	94,50
Mate 115 g/m ²	98,14	96,00
Mate 135 g/m ²	98,73	---
Mate 150 g/m ²	n.d.	---
Mate 170 g/m ²	99,32	---
Mate 200 g/m ²	100,00	---
Mate 300 g/m ²	n.d.	---
Mate 350 g/m ²	100,00	---

Como esperado, os resultados mostram que a opacidade dos papéis com e sem brilho aumenta com a sua gramagem.

Nos papéis brilhantes observa-se que a opacidade declarada pelo fabricante é sistematicamente superior aos valores experimentais, verificando-se uma tendência oposta nos papéis sem brilho (Figura 10 e 11).

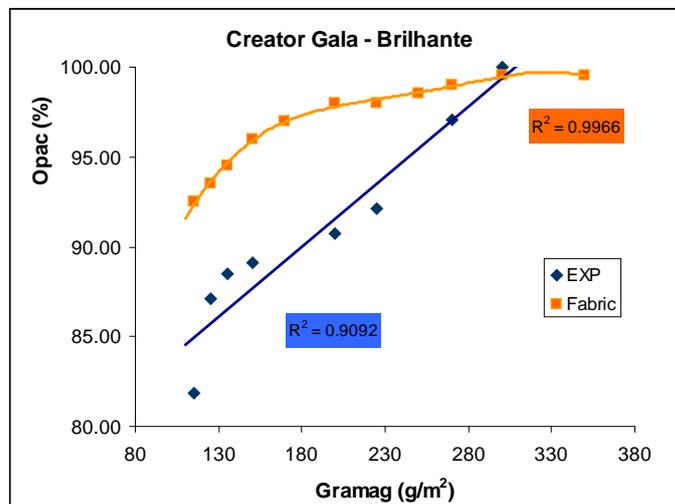


Figura 10: Opacidade versus gramagem de papéis Creator Gala Brilhantes – valores experimentais e valores fornecidos pelo fabricante.

Nota: O coeficiente de determinação, $R^2 = 0,909$, respeita a um ajuste linear entre a opacidade e a gramagem. O coeficiente de determinação, $R^2 = 0,997$, respeita a um ajuste polinomial de ordem 4 entre a opacidade e a gramagem.

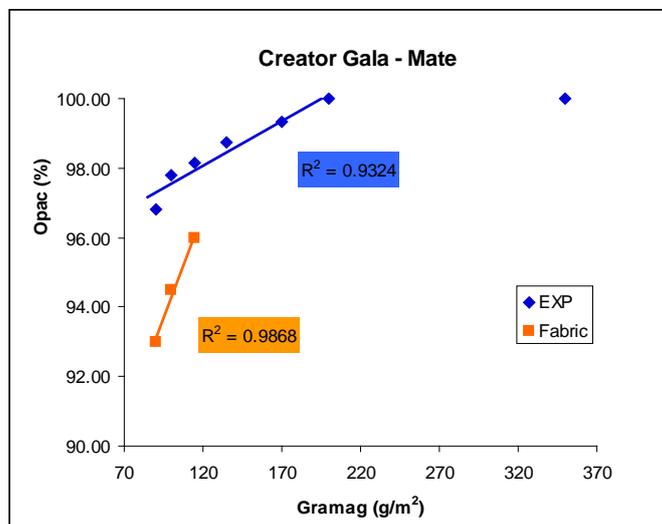


Figura 11: Opacidade versus gramagem de papéis Creator Gala Mate – valores experimentais e valores fornecidos pelo fabricante.

Nota: Os coeficientes de determinação respeitam em ambos os casos ao ajuste linear entre opacidade e gramagem.

Refira-se ainda que nos papéis com e sem brilho analisados, os valores da opacidade experimental crescem de modo aproximadamente linear com a sua gramagem atingindo o máximo de opacidade para papéis com 300 g/m^2 . Por outro lado, os valores de opacidade fornecidos pelo fabricante para papéis Brilhantes

crecem com a sua gramagem mas de modo não linear, enquanto que no caso dos papéis Mate os dados disponíveis não permitem qualquer inferência conclusiva, apesar de para gramagens baixas o crescimento da opacidade aparentar ser também linear.

Os resultados obtidos mostram também que a opacidade dos papéis Mate é superior à dos papéis com Brilho, independentemente da sua gramagem (figura 12).

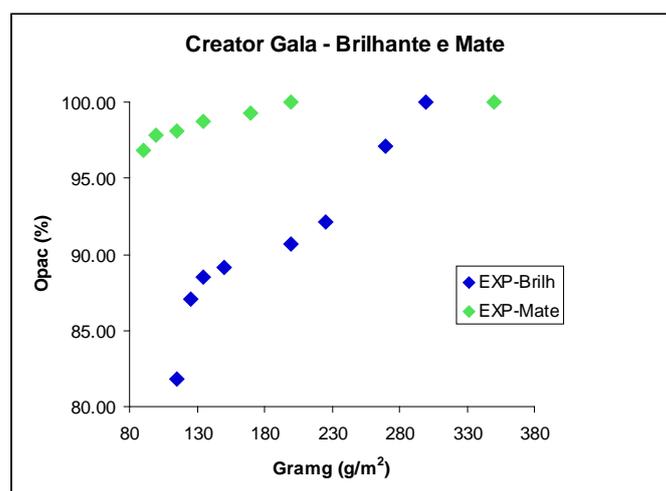


Figura 12: Opacidade versus gramagem de papéis Creator Gala com Brilho e Mate

Os dados fornecidos pelo fabricante apontam no mesmo sentido. No entanto, registam-se diferenças entre os valores experimentais e os declarados pelo fabricante no que respeita à diminuição da opacidade em papéis com brilho. Por exemplo, o papel com 115 g/m² Mate tem uma opacidade declarada de 96% e o papel brilhante com a mesma gramagem tem uma opacidade declarada de 92,5% (tabela 5), correspondendo a uma diminuição da opacidade de cerca de 4%. Os valores experimentais obtidos para esses mesmos papéis apontam para um decréscimo da opacidade que ronda os 17%.

III.1 Modelos de regressão linear multiparamétrica

Foram construídas sub-matrizes com diferentes grupos de papéis e cartolinas, cujos dados foram sujeitos a pré-tratamento: identificação de domínios de aplicabilidade, detecção de observações anómalas (*outliers*), análise de intercorrelações, etc.

A cada sub-matriz foram aplicados modelos de regressão linear multiparamétrica tendo-se estabelecido os coeficientes de regressão através do método dos mínimos quadrados.

Cada sub-matriz foi dividida em conjunto de treino e conjunto de teste, tendo sido usado o primeiro conjunto para estabelecer os modelos RLM:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + \dots \quad [\text{equação 19}]$$

Os modelos estabelecidos uni, bi ou tripamétricos foram sujeitos a rigorosos testes de validação interna com recurso a diferentes critérios estatísticos.

A capacidade preditiva dos modelos seleccionados foi avaliada com base na qualidade da previsão das propriedades em estudo para o conjunto independente de teste (validação externa) com base de novo em rigorosos critérios estatísticos (tabela 6 a 8).

III.1.1 Discussão de resultados

Apresentam-se no Anexo 3 todas as correlações estudadas. Destas analisaremos de seguida as que permitem explicar e prever a brancura (tabela 6), o brilho (tabela 7) e a opacidade (tabela 8).

Tabela 6: Modelos de brancura do papel: $Bra = a_0 + a_1 Rug + a_2 Dens + a_3 Esp$

Modelos RLM	$a_0 \pm s(a_0)$	$a_1 \pm s(a_1)Rug$	$a_2 \pm s(a_2)Den$	$a_3 \pm s(a_3)Esp$	N	s_{ajuste}	R^2	F	R^2_o	AE	AAE	
UNI	Treino	125,542 ± 0,581 (100%)	-3,102 ± 0,271 (100%)	---	16	0,62	0,904	131	---	---	---	
	Teste	---	---	---	8	0,43	0,849	34	0,722	-0,08	0,399	
BI	Treino 1	118,766 ± 3,343 (100%)	-2,376 ± 0,430 (> 99,9%)	4,873 ± 2,374 (93,9%)	16	0,56	0,927	83	---	---	---	
	Teste 1	---	---	---	8	0,56	0,747	18	0,735	0,08	0,436	
	Treino 2	125,189 ± 0,699 (100%)	-3,134 ± 0,275 (100%)	---	0,003 ± 0,003 (62,7%)	16	0,62	0,909	62	---	---	---
	Teste 2	---	---	---	---	8	0,29	0,93	84	0,93	-0,15	0,376
TRI	Treino 3	95,415 ± 1,955 (100%)	---	19,584 ± 1,558 (100%)	0,018 ± 0,003 (> 99,9%)	16	0,57	0,924	79	---	---	---
	Teste 3	---	---	---	---	8	0,54	0,764	19	0,764	0,034	0,380
	Treino	108,818 ± 2,524 (100%)	-1,585 ± 0,272 (> 99,9%)	11,032 ± 1,685 (100%)	0,012 ± 0,002 (> 99,9%)	16	0,30	0,980	198	---	---	---
Teste	---	---	---	---	8	0,12	0,988	517	0,968	0	0,134	

Nota: Foram detectados e removidos 2 outliers; $a_i \pm s(a_i)$ representa os coeficientes e (s) os respectivos erros associados; N o número de observações; s_{ajuste} representa o desvio do ajuste; r^2 é o coeficiente de determinação; F o teste de Fisher-Snedecor; R^2_o representa o coeficiente de determinação do ajuste entre Y_{exp} versus Y_{prev} para o conjunto de teste; AE reproduz os resíduos entre Y_{exp} e Y_{prev} ; AAE representa o valor absoluto de AE .

A. brancura

Foi estudada a **brancura** (*Bra*) de 26 papéis diferentes, de 2 fabricantes, em função das suas características de **rugosidade** (*Rug*), **densidade** (*Dens*) e **espessura** (*Esp*). Os resultados (tabela 6) mostram que a rugosidade do papel explica cerca de 90% da variabilidade da brancura dos papéis analisados (modelo uniparamétrico-UNI).

Os modelos biparamétricos (BI) introduzem apenas ligeiras melhorias de carácter descritivo e preditivo em relação ao modelo uniparamétrico, sendo o modelo 2 apresentado apenas para efeitos comparativos, pois o parâmetro espessura tem um significado estatístico inferior ao aceitável em análises deste tipo. No modelo biparamétrico 1, apesar dos seus coeficientes terem todos significado estatístico acima de 95% verifica-se que ambas as variáveis explicativas estão fortemente correlacionadas ($r^2 = 0,68$) pelo que se mostra redundante o seu uso em simultâneo.

O melhor modelo biparamétrico é assim, aquele que contém as variáveis densidade e espessura ($r^2 = 0,25$) o que permite explicar **~92%** da variabilidade da brancura dos papéis analisados.

O modelo triparamétrico (TRI) permite explicar **98%** da variabilidade da brancura dos papéis em termos da sua rugosidade – que diminui a brancura dos papéis – e da sua densidade e espessura, ambas com efeitos positivos sobre a variável dependente, *Bra*. Os valores dos parâmetros estatísticos inerentes à validação externa mostram o acentuado carácter preditivo deste modelo apesar da intercorrelação já apontada. A figura 13 compara os valores de brancura experimental com os valores previstos pelo modelo para os 8 papéis do conjunto de teste.

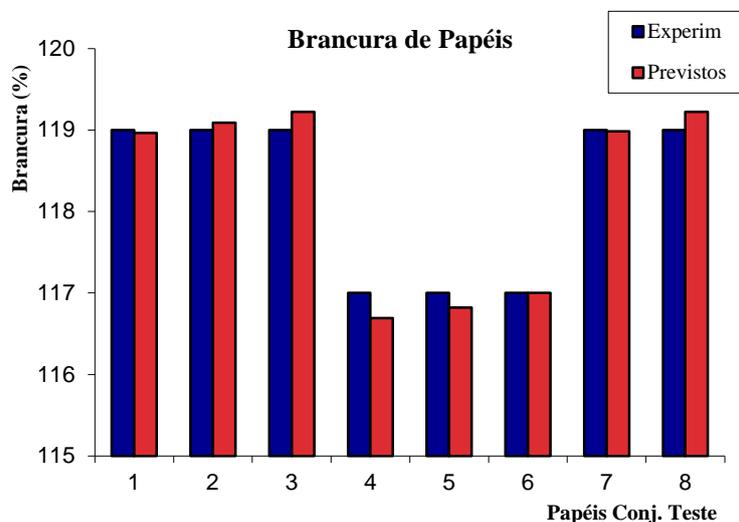


Figura 13: Comparação entre a brancura experimental e brancura prevista para os 8 papéis do conjunto de teste.

B. brilho

O **brilho** do papel para impressão é uma propriedade de grande influência na qualidade final do produto impresso. Assim, procurámos analisar o comportamento dessa propriedade. Foram analisados 87 papéis para os quais dispúnhamos de dados relativos ao seu **brilho** (Br), **brancura** (Bra) e **rugosidade** (Rug). Esta sub-matriz foi dividida em conjunto de treino (72 papéis) e conjunto de teste (15 papéis). Nos modelos RLM da Brancura e do Brilho, o conjunto de teste foi sempre o mesmo, o que possibilitou a comparação directa da capacidade preditiva dos modelos (tabela 7).

Tabela 7: Modelos de brilho do papel: $Br = a_0 + a_1 Bra + a_2 Rug$

Modelos RLM	$a_0 \pm s(a_0)$	$a_1 \pm s(a_1)Bra$	$a_2 \pm s(a_2)Rug$	N	s_{ajuste}	R^2	F	R^2_0	AE	AAE
UNI	Treino	62,466± 0,906 (100%)	0,298± 0,008 (100%)	---	67	0,733	0,954	1351	---	---
	Teste	---	---	---	15	1,123	0,901	119	0,901	-0,598
BI	Treino	61,563± 0,942 (100%)	0,301± 0,008 (100%)	0,864± 0,114 (99%)	67	0,704	0,958	735	---	---
	Teste	---	---	---	15	1,320	0,864	143	0,864	0,698

Notas: Foram detectados e removidos 5 *outliers*. A brancura e a rugosidade apresentam um nível de intercorrelação muito baixo ($r^2 = 0,04$); símbolos definidos na tabela anterior.

Os resultados constantes na tabela 7 mostram que o brilho dos papéis analisados depende essencialmente do seu grau de brancura, o qual explica cerca de **95%** da variabilidade daquela propriedade (modelo uniparamétrico).

A inclusão de uma segunda variável explicativa (rugosidade) não melhora de forma significativa a qualidade do modelo uniparamétrico conforme se pode verificar pela análise da tabela 7.

Assim, o modelo linear simples traduzido por $Br = f(Bra)$ é o que melhor descreve o brilho dos papéis e apresenta uma capacidade de previsão muito significativa como demonstram os dados da tabela 7 e a figura 14.

Brilho - modelo uniparamétrico

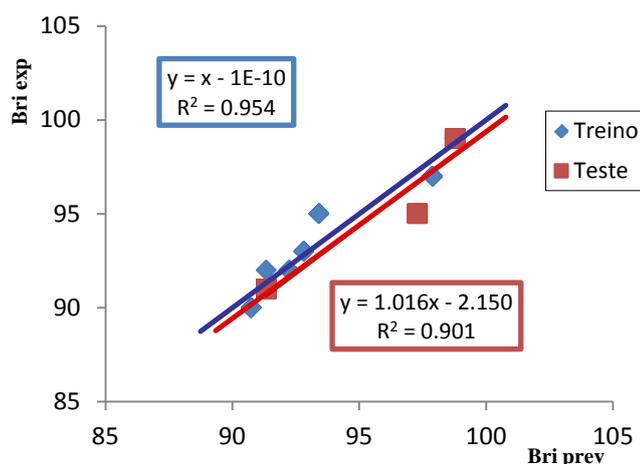


Figura 14: Brilho experimental versus brilho previsto pelo modelo uniparamétrico.

C. Opacidade

De seguida foi avaliada a **opacidade** (Op) de 177 papéis para impressão *offset* e digital de 6 fabricantes em função da sua **gramagem** (Gr) e **brancura** (Bra).

Foram retirados 28 papéis que se comportavam como *outliers* nesta análise. Os restantes 149 papéis foram divididos em conjunto de treino (114), com o qual se estabeleceu os modelos uni e biparamétrico, e conjunto de teste (35) com o qual se testou a capacidade preditiva de ambos os modelos (tabela 8).

O modelo biparamétrico mostra que a gramagem aumenta a opacidade do papel e, de modo mais surpreendente, a sua brancura diminui aquela característica (tabela 8).

A variável gramagem do papel, por si só, é responsável por cerca de **78%** da variabilidade da opacidade dos 110 papéis.

Ambos os modelos conseguem prever a opacidade dos 35 papéis do conjunto de teste, tendo o modelo uniparamétrico melhor capacidade preditiva (Figura 15).

Tabela 8: Modelos de opacidade do papel: $Op = a_0 + a_1 Gr + a_2 Bra$

Modelos RLM	$a_0 \pm s(a_0)$	$a_1 \pm s(a_1)Gr$	$a_2 \pm s(a_2)Bra$	N	s_{ajuste}	R^2	F	R^2_0	AE	AAE
UNI	Treino	84,261±0,53 (100%)	0,087±0,00 (100%)	---	110	1,71	0,779	380	---	---
	Teste	---	---	---	35	1,34	0,839	172	0,833	0,275
BI	Treino	84,912±1,515 (100%)	0,104±0,006 (100%)	- 0,027±0,013 (96%)	114	2,30	0,779	175	---	---
	Teste	---	---	---	35	1,40	0,825	155	0,810	0,581

Nota: Foram retirados mais 4 *outliers* no conjunto de treino do modelo uniparamétrico. A intercorrelação entre as variáveis independentes é insignificante ($r^2 = 0,002$).

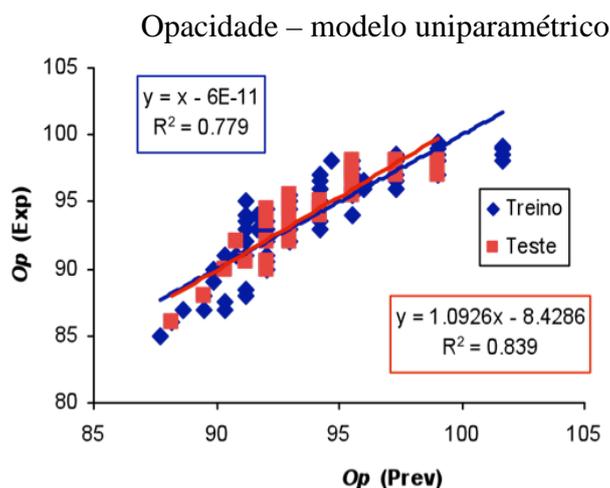


Figura 15: Opacidade experimental *versus* opacidade prevista para os 110 papéis do conjunto de treino e os 35 papéis do conjunto de teste, pelo modelo uniparamétrico.

O modelo uniparamétrico foi ainda usado para prever a opacidade de 15 papéis Creator Gala de diferentes gramagens e os resultados obtidos foram comparados com os valores de opacidade determinados experimentalmente (tabela 4).

A tabela 9 e as figuras 16 e 17 registam os resultados.

Tabela 9: Opacidade prevista, experimental e % de erro de previsão.

Papel	Opacidade (%)		
	Prevista	Experimental	% erro
Brilhante 115 g/m ²	94,25	81,82	15,19
Brilhante 125 g/m ²	95,12	87,10	9,21
Brilhante 135 g/m ²	95,99	88,48	8,49
Brilhante 150 g/m ²	97,29	89,14	9,14
Brilhante 170 g/m ²	n.d.	n.d.	n.d.
Brilhante 200 g/m ²	101,63	90,71	12,04
Brilhante 225 g/m ²	103,81	92,15	12,65
Brilhante 250 g/m ²	n.d.	n.d.	n.d.
Brilhante 270 g/m ²	107,72	97,08	10,96
Brilhante 300 g/m ²	110,32	100,00	10,32
Brilhante 350 g/m ²	n.d.	n.d.	n.d.
Mate 90 g/m ²	92,08	96,81	-4,89
Mate 100 g/m ²	92,95	97,81	-4,97
Mate 115 g/m ²	94,25	98,14	-3,96
Mate 135 g/m ²	95,99	98,73	-2,78
Mate 150 g/m ²	n.d.	n.d.	n.d.
Mate 170 g/m ²	99,03	99,32	-0,29
Mate 200 g/m ²	101,64	100,00	1,64
Mate 300 g/m ²	n.d.	n.d.	n.d.
Mate 350 g/m ²	114,67	100,00	14,67

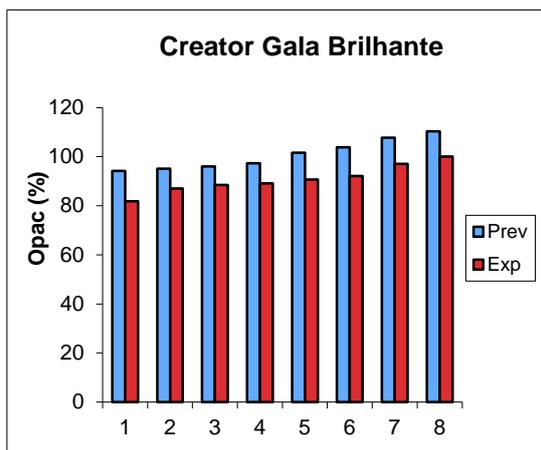


Figura 16: Opacidade prevista e experimental dos papéis Creator Gala Brilhante.

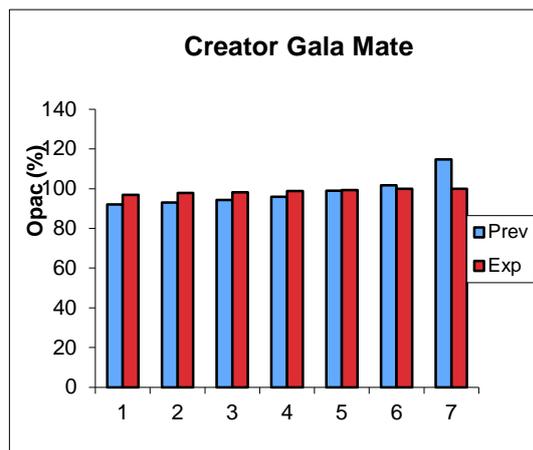


Figura 17: Opacidade prevista e experimental dos papéis Creator Gala Mate.

O modelo uniparamétrico prevê de modo muito eficaz os valores de opacidade do papel com uma % de erro que varia entre -0,3% e 15,2%.

Observa-se que a capacidade de previsão do modelo é superior em papéis Mate. No subconjunto dos 8 papéis Brilhantes o desvio de previsão é maior e sistematicamente superior ao valor experimental. Poderemos então supor que o processo de calandragem que confere o Brilho ao papel diminui a sua opacidade.

Desta análise retira-se ainda que o modelo uniparamétrico aparenta ter como limite de aplicabilidade papéis com uma gramagem em torno de 200g/m², uma vez que para papéis mais “pesados” os valores da opacidade previstos são superiores a 100%.

III.2 Modelos de classificação dos papéis – Redes de Kohonen

As redes de Kohonen - Self-Organizing Maps (SOM) – são uma das possíveis abordagens no âmbito das redes neuronais artificiais e são usadas com vista à redução de objectos multidimensionais a um espaço bidimensional (mapa 2D). No presente trabalho foram usadas SOM [43] para mapear diferentes conjuntos de papéis, cada um deles representado por diferentes descritores, *i.e.*, por um conjunto de propriedades específicas que caracterizam as particularidades de cada papel.

As redes SOM permitem, assim, encontrar semelhanças entre conjunto muito vastos de papéis, permitindo ainda agrupá-los em função das suas características/propriedades.

As SOM aprendem por meio de treino não supervisionado. Esta ferramenta é constituída por uma grelha de neurónios cada um deles contendo tantos elementos (pesos) como o número de variáveis-*inputs* (descritores).

Com o intuito de proceder ao mapeamento 2D foram criadas duas sub-matrizes:

- (i) matriz (216x3) com 216 papéis de 7 fabricantes distintos, cada um deles descrito por 3 propriedades – Gramagem, Opacidade e Brancura;
- (ii) matriz (140x5) com 140 papéis de 5 fabricantes distintos, cada um deles descrito por 5 propriedades – Gramagem, Densidade Aparente, Índice de Mão, Brancura e Opacidade.

Na construção das sub-matrizes seleccionaram-se papéis e propriedades determinantes na *performance* de impressão sobre os quais tínhamos dados disponíveis.

Para cada submatriz, os dados foram previamente escalados entre 0.1 e 0.9 de acordo com a equação 6, e foram classificados em 4 classes¹² em função da Brancura no caso da sub-matriz (i) e em função da opacidade no caso da sub-matriz (ii). Usando os dados de cada sub-matriz foram treinadas distintas redes de Kohonen e para este efeito recorreremos ao *software JATOON: Java Tools for Neural Networks*, desenvolvido por Aires-de-Sousa [43];

III.2.1 Discussão de resultados

Depois de treinada, a rede é capaz de revelar similaridades entre os papéis, já que papéis similares (com propriedades semelhantes) são mapeados no mesmo neurónio ou em neurónios adjacentes.

O resultado obtido para a sub-matriz (i) constituída por 216 papéis descritos por 3 descritores é ilustrado na figura 18 e revela a superfície toroidal de uma SOM onde se verifica uma clara tendência para papéis pertencentes à mesma classe formarem *clusters* bem definidos.

Uma vez que, o método de aprendizagem da rede SOM não usa a informação relativa à pertença de classes durante o treino mas apenas a similaridade entre os papéis (traduzida em termos dos 3 descritores usados) para os posicionar no mapa bidimensional, conclui-se que em geral papéis similares têm uma brancura semelhante.

¹² Escala de classes: Classe A – [0.1 a 0.3]; Classe B – [0.3 a 0.5]; Classe C – [0.5 a 0.7]; Classe D – [0.7 a 0.9];

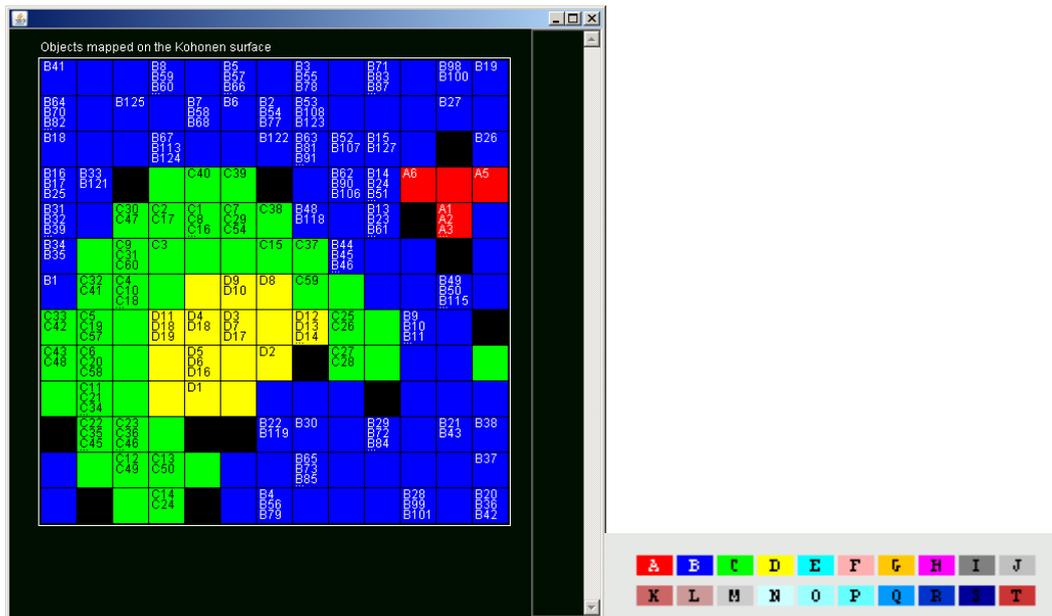


Figura 16: Rede SOM ($\dim^{13} = 13 \times 13$; $ils^{14} = 5$; 100 epochs¹⁵) 216 papéis; 3 descritores

A figura 19 mostra o resultado obtido para a sub-matriz (ii) constituída por 140 papéis descritos, cada um deles, por 5 descritores. Observamos de novo a superfície toroidal de uma SOM onde se verifica uma clara tendência para papéis pertencentes à mesma classe formarem *clusters* bem definidos.

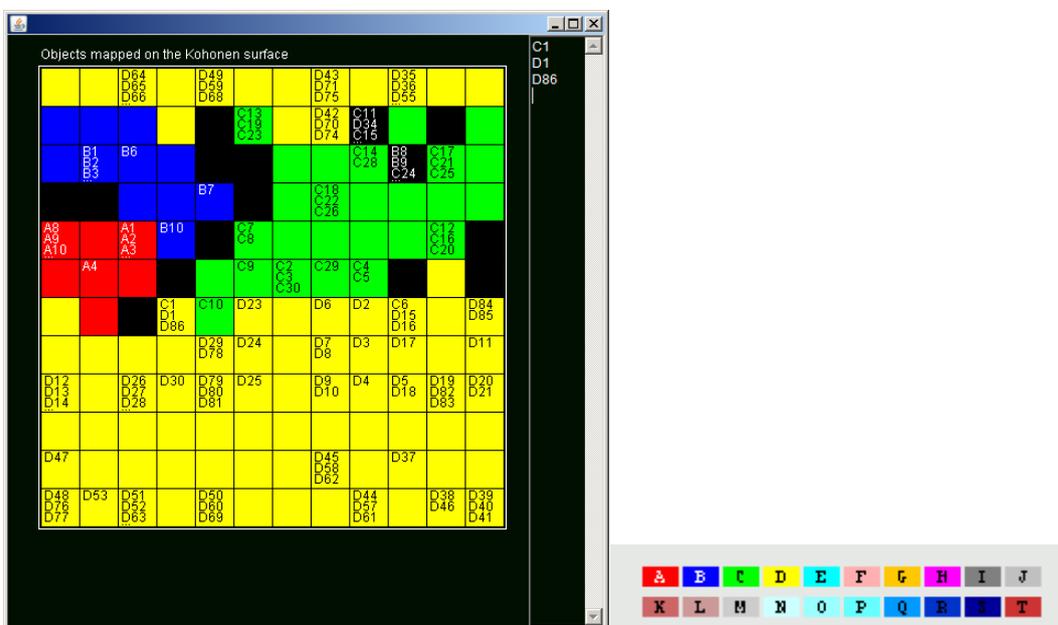


Figura 17: Rede SOM ($\dim = 12 \times 12$; $ils = 5$; 60 epochs) 140 papéis; 5 descritores

¹³ Dimensão da rede.

¹⁴ Velocidade de aprendizagem.

¹⁵ Número de iterações.

Em ambos os casos mapeados a larga maioria dos neurónios activados contém papéis da mesma classe (100% na sub-matriz (i) e 98,57% na sub-matriz (ii)). Registam-se, no entanto, algumas imperfeições locais que quando analisadas em detalhe permitem retirar delas informações de relevo:

Assim, por exemplo no caso da sub-matriz (ii) o neurónio da posição (L7XC4) da classe D (representada a amarelo) é activado simultaneamente por 2 papéis da classe D – D1, D85 e por 1 papel da classe C – C1. Aparentemente, o papel da classe C estaria mal colocado. Contudo, a comparação das suas propriedades (tabela 10) mostra, tal como se esperava, uma enorme similaridade entre os 3 papéis que activam o neurónio. Regista-se um comportamento análogo no neurónio da posição L7XC10.

Tabela 10: Activação de neurónios por papéis de classes diferentes na submatriz (ii)

Papel	Marca	Fabricante	Gramag (g/m ²)	Densidade aparente g/cm ³	Índice de mão cm ³ /g	Brancura CIE (%. D65/10)	Opacidade ISO (%. D65/10)
L7 x C4							
C1	Creator Gala Mate	Torras	90	0.93	1.07	121	93
D1	Creator Gala Mate	Torras	100	0.93	1.08	121	94.5
D85	Creator Gala Mate	Torras	115	0.92	1.09	121	96
L7 x C10							
C6	Lumisilk	StoraEnso	115	1.32	0.76	122	93.5
D15	Lumisilk	StoraEnso	130	1.28	0.78	122	95.5
D16	Lumisilk	StoraEnso	135	1.28	0.78	122	96

Os dados da tabela 10 revelam a similaridade entre papéis distintos que activam o mesmo neurónio.

Este tipo de informação pode revelar-se de extrema utilidade quer para o fabricante quer para o utilizador de papel (impressor, gráfico, etc.), uma vez que permite:

- (i) encontrar papéis com características semelhantes a partir de fabricantes diferentes onde as possibilidades de escolha são inúmeras e não é possível, à primeira vista, identificar similaridades;
- (ii) escolher entre papéis que sendo semelhantes têm características específicas que podem ir de encontro ao desejo do consumidor (por exemplo, os papéis C1 e D85 têm gramagens suficientemente diferentes para justificar aplicações distintas e, no entanto, mantêm semelhante a

característica de brancura que é fundamental em determinadas aplicações);

- (iii) escolher papéis “iguais”, *i.e.*, com características idênticas, mas que por razões diversas podem ter preços diferentes.

Outra das potencialidades das Redes de Kohonen é a de, uma vez treinadas, efectuarem previsões de classificação.

Com o intuito de testar a capacidade de previsão das redes SOM, foram usadas as sub-matrizes anteriores e a partir delas foram construídos diferentes conjuntos de treino e de teste ambos com distintos números de descritores e com cada um dos conjuntos de treino foram treinadas cerca de 70 redes de Kohonen, com diferentes arquitecturas, e foi testado a sua capacidade de previsão.

Os resultados obtidos apresentam-se no anexo 4.

A tabela 11 exemplifica os resultados obtidos com as redes que conduziram a maiores taxas de sucesso na capacidade de previsão da Brancura e da Opacidade dos papéis estudados. Mantiveram-se os critérios na escala de classes: Classe A – [0.1 a 0.3]; Classe B – [0.3 a 0.5]; Classe C – [0.5 a 0.7]; Classe D – [0.7 a 0.9];

Tabela 11: Redes SOM para previsão da classificação de Brancura e da Opacidade de papéis.

Dimensão	Velocidade inicial de aprendizagem	Nº iterações	velocidade	Factor cluster	% total previsão	% A	% B	% C	% D	
Previsão de BRANCURA ; Descritores = 4 / Conjunto Treino = 105 / Conjunto Teste = 35										
R1	11x11	5	50	0,9	1,58	40,0%	35%	75%	40%	0%
R2	11x11	6	100	0,9	1,85	34,3%	20%	50%	50%	0%
R3	11x11	5	100	0,9	1,40	57,1%	65%	75%	40%	0%
R4	11x11	4	100	0,9	1,56	60,0%	55%	100%	40%	100%
R5	11x11	3	100	0,9	1,68	51,4%	55%	75%	40%	0%
R6	11x11	4	150	0,9	1,89	45,7%	50%	75%	40%	0%
R7	10x10	4	100	0,9	0,76	57,1%	70%	100%	10%	100%
R8	10x10	5	100	0,9	0,78	42,9%	50%	50%	40%	0%
R9	10x10	4	120	0,9	0,38	62,8%	65%	75%	50%	100%
R10	10x10	3	130	0,9	0,64	68,6%	75%	75%	50%	100%
R11	9x9	3	150	0,9	0,33	51,4%	50%	75%	40%	100%
Dimensão	Velocidade	Nº	velocidade	Factor	% total	% A	% B	% C	% D	

	inicial de aprendizagem	iterações	cluster	previsão							
Previsão de OPACIDADE ; Descritores = 4 / Conjunto Treino = 105 / Conjunto Teste = 35											
R1	11x11	5	50	0,9	4,30	82,9%	100%	50%	55,6%	95,2%	
R2	11x11	5	100	0,9	3,79	88,5%	100%	50%	66,7%	100%	
R3	11x11	4	100	0,9	4,07	85,7%	100%	50%	66,7%	95,4%	
R4	11x11	5	75	0,9	4,32	77,1%	100%	77,4 %	44,4%	85,7%	
R5	11x11	5	120	0,9	3,97	80,0%	66,7%	50%	44,4%	100%	
R6	10x10	5	100	0,9	4,30	85,7%	100%	50%	55,6%	100%	
R7	10x10	4	100	0,9	3,98	80,0%	66,7%	50%	66,7%	91%	
R8	10x10	4	100	0,9	3,3	85,7%	100%	50%	66,7%	95,2%	
R9	10X10	6	100	0,9	4,18	82,9%	100%	50%	66,7%	90,5%	
R10	9x9	5	100	0,9	3,22	74,3%	66,7%	50%	55,6%	85,7%	

Para treinar as redes que constam na tabela 11, foi usado um conjunto de treino com 105 papéis e um conjunto de teste (usado para as previsões) com 35 papéis. Os descritores usados na previsão da Brancura foram: Gramagem, Densidade Aparente, Índice de mão e Opacidade; os descritores usados na previsão da Opacidade foram: Densidade aparente, Índice de Mão e Brancura.

Como se pode observar os parâmetros que descrevem a arquitectura da rede (dimensão, velocidade inicial de aprendizagem e o número de iterações) influenciam a sua capacidade de previsão.

De um modo geral, verifica-se que quanto maior a dimensão da rede (para os mesmos valores de velocidade inicial e de iterações) a capacidade de previsão aumenta. No entanto, é de referir que a dimensão da rede deve ser cautelosamente escolhida: não deverá ser demasiado pequena, face à dimensão do conjunto de treino, porque pode não ter neurónios suficientes para acomodarem todos os objectos, nem deverá ser demasiado grande para que não existam demasiados neurónios que não sejam activados pelos objectos existentes. Por outro lado, quanto menor a velocidade inicial de aprendizagem maior a capacidade de previsão, embora aparentemente exista um valor óptimo para este parâmetro. O número de iterações também influencia a capacidade de previsão, aumentando esta quanto maior for o número de iterações.

Contudo, refira-se que este número não deve ser muito grande uma vez que pode conduzir a *overtraining* da rede e a uma diminuição da taxa de sucesso.

No que respeita à capacidade de previsão, verificamos que as redes SOM efectuem previsões com um significativo grau de sucesso, que chegam aos 69% de sucesso no caso da classificação da Brancura dos papéis e aos 88,5% na classificação da sua Opacidade. Verifica-se, também, em ambas as situações que os papéis da classe C são previstos com menor precisão.

Observa-se ainda que redes com arquitectura semelhante prevêm com maior sucesso a opacidade dos papéis do que a sua brancura. Uma vez que 3 dos 4 descritores usados em cada situação são os mesmos, podemos, pois, deduzir que a opacidade dos papéis é influenciada pelo seu grau de brancura mas o inverso pode não ser verdadeiro.

CAPITULO IV – CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS DE TRABALHO FUTURO

IV. Considerações finais e perspectivas de trabalho futuro

Ao definirmos perspectivas de trabalho futuro necessariamente ponderamos sobre o objectivo proposto, o progresso do trabalho e as conclusões alcançadas. A primeira conclusão é que ainda há muito trabalho a fazer. O objectivo inicial deste estudo consistiu em estabelecer modelos quantitativos rigorosos que relacionassem as propriedades específicas de cada tipo de papel com a sua imprimibilidade e que permitissem efectuar previsões sobre o posterior comportamento/*performance* do papel. Foram analisados 286 papéis e cartolinas de 12 fabricantes, e 25 propriedades estruturais, ópticas, mecânicas e físico-químicas garantindo a homogeneidade e a representatividade dos diferentes papéis disponíveis no mercado. Aplicaram-se duas metodologias QSPR, as Regressões Lineares Multiparamétricas e as Redes Neurais Artificiais não Supervisionadas (*Self-Organizing Maps*) e concluiu-se que ambas se demonstraram eficazes e complementares na modelação e capacidade de previsão das propriedades dos papéis. As RLM superaram as RNA no desenvolvimento de modelos cujas propriedades envolvidas têm comportamentos lineares, uma vez que permitem estabelecer equações matemáticas simples, de fácil aplicação e com níveis de previsão bastante elevados. Por outro lado, as redes neuronais têm a capacidade de classificar, conseguem extrair padrões e modelar comportamentos aparentemente estocásticos.

Destacamos como principais conclusões obtidas sobre a propriedade brancura que nos modelos e papéis analisados, a densidade em conjunto com a espessura explicam 92% da brancura, e que a brancura aumenta com o aumento das mesmas. Por outro lado com a propriedade rugosidade o comportamento é inverso, a brancura diminui com o aumento da rugosidade e esta explica em 90% a variabilidade da brancura. Também concluímos que a brancura explica até 95% da propriedade brilho. Nos modelos SOM obtivemos que a gramagem, densidade aparente, índice de mão e opacidade em conjunto são descritores da brancura com uma capacidade de previsão que chega aos 69%.

Relativamente à propriedade opacidade concluímos que independentemente da gramagem os papéis mate são mais opacos que os papéis brilhantes, pelo que se

pressupõe que o processo de calandragem que confere brilho ao papel possa diminuir a opacidade. Podemos assim afirmar que a gramagem aumenta a opacidade do papel conforme observado nas determinações experimentais da opacidade e comprovado na modelação por RLM (modelo biparamétrico com o limite de aplicabilidade próximo das 200g/m^2 onde atinge o valor máximo da opacidade) e que a gramagem explica cerca de 78% da variabilidade da opacidade.

De uma forma geral consideramos que os resultados obtidos são bastantes satisfatórios, foram estabelecidos modelos que permitem avaliar algumas características do papel de forma quantitativa e que possibilitam identificar características semelhantes em papéis similares.

A modelação efectuada incidiu principalmente nas propriedades ópticas e estruturais, facto que se deveu aos resultados obtidos mas também à insuficiência de dados de determinadas propriedades mecânicas e físico-químicas. O presente estudo está inserido numa investigação constante, pelo que uma das vias de desenvolvimento do mesmo poderá ser a exploração das propriedades em causa, completando a matriz com determinação de mais propriedades e inclusão de novos papéis. Nesta matéria, e dada a rápida evolução tecnológica dos métodos de impressão, seria relevante a extensão deste estudo a outros métodos e suportes de impressão. Assim como, a aplicação de outras metodologias, como sejam as BPNN, para o desenvolvimento de novos modelos.

Referências bibliográficas

- [1] AA.VV., *Análise simples, todos os segmentos 2010*; Associação Portuguesa para o controlo de tiragem e circulação, http://www.apct.pt/Analise_simples.php; acessido em 27 de Agosto de 2011.
- [2] PEREIRA, João Pedro; *Amazon vendeu mais livros electrónicos do que livros de capa dura*; artigo publicado no Jornal “O Público” a 10 de Julho de 2010; <http://www.publico.pt/Tecnologia/amazon>; acessido em 20 de Outubro de 2010.
- [3] AA.VV., *Allaboutpaper*, <http://www.tappi.org/Bookstore/Public-Outreach.aspx>; acessido em 20 de Outubro de 2010.
- [4] DOMTAR, *Paper is not bad*, <http://www.paperbecause.com/Paper-is-Sustainable/Paper-is-Not-Bad>; acessido em 20 de Outubro de 2010.
- [5] AA.VV., *Estatísticas de embalagens recicladas, resultados da sociedade ponto verde*, Sociedade Ponto Verde, <http://www.pontoverde.pt/indexpv.asp?opc=itsnomobile>; acessido em 28 de Agosto de 2011.
- [6] AA.VV., *A história do papel*, <http://portaldasartesgraficas.com/papel/historia.htm>; acessido em 10 de Outubro de 2010.
- [7] PIRES, Cláudia; *Antecedentes históricos da escrita*, <http://www.revista-temas.com/contacto/NewFiles/Contacto12.html>; acessido em 21 de Novembro de 2011.
- [8] AA.VV., *A história do papel*, <http://www.celipa.pt>; acessido em 10 de Outubro de 2010.
- [9] AA.VV., *The invention of paper for The Robert C. Williams Paper Museum*, Georgia Institute of Technology (Paper Science and Technology), <http://www.ipst.gatech.edu/amp/collection/index.htm>; acessido a 10 de Outubro de 2010.
- [10] SAMISTRARO, Gisely; *Propriedades químicas e físicas da polpa e papel kraft por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)*, Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, 2008.
- [11] NAVARRO, R. M. S.; Navarro, F. M. S., Tambourgi, E. B., *Estudo de diferentes processos de obtenção da pasta celulósica para fabricação de papel*, Revista Ciências e Tecnologia., n°1, 2007, pág. 1-5.
- [12] HEITLINGER, Paulo, *Tipografia – Origens, formas e uso das Letras*, Dinalivro, 2006.
- [13] KIPPAN, Helmut; *Handbook of print media: technologies and production methods*, Springer, Edição Ilustrada, 2001, pág.134-165.
- [14] COLEN, José, *Introdução à impressão digital*, ISEC, 2003, pág 83-85.
- [15] ISO Standards, resumos publicados em http://www.iso.org/iso/catalogue/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=7416&ICS1=85&ICS2=060; acessido a 10 de Outubro de 2010.
- [16] AA.VV., *Air Permeance of Paper and Paperboard (Sheffield Method), Test Method T 547 om-07*; TAPPI standards department, <http://www.tappi.org/sp/Search.aspx?SearchPhrase=t+547+om-07>; acessido a 19 de Novembro de 2011.
- [17] FARDIM, Pedro, *Papel e química de superfície*, O Papel, Associação brasileira técnica de celulose e papel, Abril 2002, pág 97-107.

- [18] PEREIRA, M.J.T.; Fiadeiro, P.T.; Ferreira, F.M.P.B., *Simulação matemática do padrão óptico da distribuição de fibra na superfície da folha do papel*, Proceedings of 'engenharias' 2003 – Inovação e desenvolvimento, ENGENHARIA' 2003.
- [19] FERREIRA, Paulo; *Propriedades do papel; ciência e tecnologia da pasta e do papel*, Departamento de Eng. Química da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade de Coimbra; 2008.
- [20] FILHO, Sérgio R., *Inter-relacionamento tinta-papel*, Rossitecnologia gráfica s.c.ltda;1999
- [21] MONTEIRO, J. V.; Oliveira, R.C.; *Estudo de colagem alcalina em polpas de kraft de eucalipto branqueadas por tecnologia ECF e TCF*; Congresso Internacional Celulose e Papel, 2000.
- [22] VIEIRA, Carlos, *Características do papel*, t&g; nº 36, INAPA, 2007
- [23] MONTEIRO, E. Carlos; Lopes, Alberto S.; *Densitometria de reflexão-manual técnico*, ITG®, 2002.
- [24] NORBERG J O., Andersson, M., *Perceived Image quality of printed images and their relation to paper properties*, http://apachepersonal.miun.se/~magneu/publications/Norberg_CIC17_fullpaper.pdf; acessado a 21 Julho de 2010.
- [25] PAROLA, M., Kaljunen, T., Beletski, N., Pauku, J., *Analysing printing press runnability by data mining*, International Printing and Graphic Arts Conference, Montreal, Canadá, 2003.
- [26] SAMISTRARO G., Muniz, G.I.B., *Química Nova*, 2009, 32, pág. 1422-1425.
- [27] BYERNE, D., *Interpreting quantitative data*, Sage Publications, 2002.
- [28] KATRITZKY, A.R., Petrukhin, R., Tatham, D., Basak, S., Benfenati, E., Karelson, M., Maran, U., *Interpretation of quantitative structure-property and activity relationships*, J. Chem. Inf. Comput. Sci, 41, 2001, pág. 679-685.
- [29] GINI, G.; Craciun, M.V.; König, C.; Benfenati, E.; *Combining Unsupervised and Supervised Artificial Neural Networks to Predict Aquatic Toxicity*, J.Chem. Inf. Comput. Sci., 2004, pág. 44, 1897-1902.
- [30] BIENFAIT, B.; *Applications of high-resolution self-organizing maps to retrosynthetic and QSAR analysis*, J.Chem. Inf. Comput. Sci., 1994, pág. 34; 890-898.
- [31] WALKER, J.D., Carlsen, L., Jaworska, J., *Improving opportunities for regulatory acceptance of QSAR, The importance of model domain, uncertainty, validity and predictability*, QSAR Comb. Sci., 22, 2003, pág. 346-350.
- [32] ERIKSSON, L., Andersson, Johansson, P.L., Tysklind, E. M., *Multivariate biological profiling and principal toxicity regions of compounds: the PCB case study*; J. Chemometrics, QSAR Comb. Sci ,16, 2002, pág. 497-509.
- [33] TROPSHA, A.; Gramatica, P.; Gombar, V.K.; *The importance of being earnest: validation is the absolute essential for successful application and interpretation os QSPR models*, QSAR Comb. Sci., 22, 2003, pág. 69-77.
- [34] NIKOLOVA, N.; Jaworska, J., *Approachs to measure chemical similarity – a review*, QSAR Comb. Sci., 22, 2003, pág. 1006-1026.
- [35] KNOSE, B., Smagt, P., *An introduction to Neural Networks*, 8th Ed., Univ. of Amsterdam, 1996.
- [36] MARTINS, F., Ventura, C., *Application of Quantitative Structure-Activity Relationships to the Modeling of Antitubercular Compounds. 1. The Hydrazide Family*, J. Med. Chem. 2008, 51, 612–624.

- [37] MEYERS, L.S.; Gamst, G.; Guarino, A. J., *Applied multivariate research – design and interpretation*, Sage Publications, 2005.
- [38] AIKEN, L.S.; West, S. G., *Multiple Regression: testing and interpreting interactions*, Sage Publications, 1991.
- [39] ANDREA, T.A.; Kalayeh, H.; *Applications of neural networks in quantitative structure-activity relationships of dihydrofolate reductase inhibitors*; J. Med. Chem., 34, 1991, pág 2824-2836.
- [40] DIMITROV, S., Dimitrova, G., Pavlov, T., Dimitrova, N.; Patlewicz, G.; Niemela, J.; Mekenyan, O.; *A setwise approach for defining the applicability domain of SAR and QSAR models*; J. Chem. Inf. Model. 45, 2005, pág., 839-849.
- [41] ROFAS, R., *Neural networks – a systematic introduction*, Springer-Verlag, 1996.
- [42] VENTURA, C., *Construção de modelos, interpretação e previsão de comportamentos*, ISEC / CEIA, 2010.
- [43] AIRES-DE-SOUSA, J.; Jatton, *Java tools for neural networks*, Chemom. Intell. Lab. Syst., 2002, pág. 61, 167-173.
- [44] ZUPAN, J., Gasteiger, J., *Neural Networks in Chemistry and Drug Design*, 2ª Ed., Wiley-VCH, 1999.
- [45] NICULESCU, S.P., *Artificial neural networks and genetics algorithms in QSAR*, J. Mol. Struct (Theochem), 2003, pág. 622, 71-83.
- [46] AOYAMA, T., Suzuki, Y., Ichikawa, H., *Neural networks applied to quantitative structure-activity relationship analysis*, J. Med. Chem., 1990, pág. 33, 2583-2590.
- [47] CHOW, H.; Chen, H.; Ng, T., Myrdal, P., Yalkowsky, S.H., *Using back propagation networks for the estimation of aqueous activity coefficients of aromatic organic compounds*; J. Chem. Inf. Comput. Sci., 1995, pág. 35, 723-728.
- [48] LIVINGSTONE, D.J., Manallack, D.T., Tetko, I.V., *Data modelling with neural networks: advantages and limitations*, J. Comp-Aided Molec. Des., 1997, pág. 11, 135-142.
- [49] TETKO, I.V., Luik, A.I., Poda, G.I., *Applications of neural networks in structure-activity relationships of a small number of molecules*, J. Med. Chem., 1993, pág. 36, 811-814.
- [50] KÖVESDI, I., Dominguez-Rodriguez, M. F.; Ôrft, L., Náráy-Szabó, G., Varró, A.; Papp, J.Gy; Mátyus, P., *Application of neural networks in structure-activity relationships*, Med. Res. Rev., 1999, pág. 19, 249-269.
- [51] MILAC, A-L., Avram, S., Petrescu, A-J., *Evaluation of a neural networks QSAR method based on ligand representation using substituent descriptors. Application to HIV-1 protease inhibitors*, J. Mol. Graph.Modell., 2006, pág. 25, 37- 45.
- [52] DUPRAT, A.F., Huynh, T., Dreyfus, G., *Toward a principled methodology for neural network design and performance evaluation in QSAR. Application to the prediction of log P*, J. Chem. Inf. Comput. Sci., 1998, pág. 38 586-594.
- [53] TETKO, I.V., Livingstone, D.J.; Luik, A.I., *Neural network studies. 1. Comparison of overfitting and overtraining*, J. Chem. Inf. Comput.Sci., 1995, pág. 35, 826-833.
- [54] TETKO, I.V., Villa, A.E.P., Livingstone, D.J., *Neural network studies. 2. Variable selection*, J. Chem. Inf. Comput. Sci., 1996, pág. 36, 794-803.

- [55] GARCIA-DOMENECH, R., Julián-Ortiz, J.V., *Antimicrobial activity characterization in a heterogeneous group of compounds*, J. Chem. Inf. Comput. Sci., 1998, pág. 38, 445-449.
- [56] HARRIS, D. C., *Medida do pH com um electrodo de vidro.*; *Análise química quantitativa*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005. cap. 15-5, pág. 312-319.
- [57] AA.VV., Associação Brasileira Tecnológica Gráfica; publicado em https://www.abtg.org.br/index.php?option=com_content&task=view&id=248&Itemid=47; acedido a 7 Janeiro 2011.

ANEXO 1

MATRIZ DE DADOS

Matriz de dados

Papel			Prop. Estruturais											Ópticas					Mecânicas				Físico-Químicas					
Marca	Fabricante	Função (impres. Digital, offset, embalagem, rótulo, ...)	Tipo de fibra celulósica	Gramagem (g/m²)	Espessura (µm)	Densidade aparente (g/cm³)	Índice de mão (cm³/g)	Porosidade (mL/min)	Rugosidade superficial (mL/min)	Rugosidade verso (mL/min)	Lisura superficial (mL/min)	Lisura verso (mL/min)	Brancura CIE (%)	Brancura ISO (%)	Opacidade (%)	Luminescência (%)	Brilho Tappi (%)	Brilho CIE (%)	Resistên-cia à tracção (kN/m)	Resistên-cia à compres-são (mm)	Rigidez à tracção (mNm)	Rigidez ao encurva-mento (mNm)	teor Humidade TAPPI (%)	teor Humidade ISO (%)	pH da superfície	pH da massa	Conteúdo cinzas (%)	Conteúdo aditivos (%)
Maine Gloss Green	Arjo Wiggings	Fine paper Cartolina offset		160		1,25	0,8								96,5		75	124			0,6	1						
Maine Gloss Green	Arjo Wiggings	Fine paper Cartolina offset		170		1,33	0,75								97,5		75	124			0,8	1,2						
Maine Gloss Green	Arjo Wiggings	Fine paper Cartolina offset		200		1,32	0,76								98,5		75	124			1,4	2						
Maine Gloss Green	Arjo Wiggings	Fine paper Cartolina offset		250		1,28	0,78								99,5		75	124			2,9	4,1						
Maine Gloss Green	Arjo Wiggings	Fine paper Cartolina offset		300		1,25	0,8								99,8		75	124			5	7,7						
Maine Gloss Green	Arjo Wiggings	Fine paper Cartolina offset		360		1,25	0,8								99,9		75	124			7,9	12						
Conqueror Concept /	Arjo Wiggings	Fine paper Cartolina offset		100					300														40		7,5			
Conqueror Concept /	Arjo Wiggings	Fine paper Cartolina offset		120					300														40		7,5			
Conqueror Concept /	Arjo Wiggings	Fine paper Cartolina offset		160					300														40		7,5			
Conqueror Concept /	Arjo Wiggings	Fine paper Cartolina offset		250					300														50		7,5			
Conqueror Concept /	Arjo Wiggings	Fine paper Cartolina offset		350					250														50		7,5			
Idem	Arjo Wiggings	Autoco-piativo		57	65				60	100																		
Idem	Arjo Wiggings	Autoco-piativo		63	77				140	300																		
Curious Touch Arches	Arjo Wiggings	Fine paper offset, digital		110																								
Curious Touch Arches	Arjo Wiggings	Fine paper offset, digital		120					600																			
Curious Touch Arches	Arjo Wiggings	Fine paper offset, digital		160					mais de 1200																			
Curious Touch Arches	Arjo Wiggings	Fine paper offset, digital		250					mais de 1200																			
Curious Touch Arches	Arjo Wiggings	Fine paper offset, digital		300																								
Curious Touch Arches	Arjo Wiggings	Fine paper offset, digital		400					mais de 1200																			
Opalite		Papel Jornal		40	67	0,60	1,67	250	90	100					91	65		60,5										
Opalite		Papel Jornal		38	63	0,61	1,65	300	90	100					89	65		60,5										
Opalite		Papel Jornal		36	60	0,61	1,65	300	90	100					87	65		60,5										
Opalite		Papel Jornal		34	56	0,61	1,65	300	90	100					86	65		60,5										
News		Papel Jornal		40	68	0,59	1,7	300	91,56	94,64					92	63,5		59										
News		Papel Jornal		42,5	73	0,59	1,7	300	91,56	94,64					93	63,5		59										
News		Papel Jornal		45	76	0,59	1,7	250	90,46	91,66					94	63,5		59										
News		Papel Jornal		48,8	82	0,59	1,7	220	87,86	89,74					95	63,5		59										
Poró		Papel Jornal		49	77	0,63	1,6	200	101,65	101,65					96			52,5										
Carta Elegã	M Real	offset, flexo, serigrafia	Mecânica e química	200	280						0,8 µm	4 µm					50				3	6			7,5			
Carta Elegã	M Real	offset, flexo, serigrafia	Mecânica e química	210	300						0,8 µm	4 µm					50				3,5	7			7,5			
Carta Elegã	M Real	offset, flexo, serigrafia	Mecânica e química	230	350						0,8 µm	4 µm					50				5,5	11			8			
Carta Elegã	M Real	offset, flexo, serigrafia	Mecânica e química	255	400						0,8 µm	4 µm					50				8,1	16,2			8			
Carta Elegã	M Real	offset, flexo, serigrafia	Mecânica e química	270	420						0,8 µm	4 µm					50				9,7	19,4			8,5			
Carta Elegã	M Real	offset, flexo, serigrafia	Mecânica e química	280	450						0,8 µm	4 µm					50				10,7	21,4			8,5			
Carta Elegã	M Real	offset, flexo, serigrafia	Mecânica e química	290	475						0,8 µm	4 µm					50				12	24			8,5			

Matriz de dados

Papel			Prop. Estruturais											Ópticas						Mecánicas				Físico-Químicas					
Marca	Fabricante	Função (impres. Digital, offset, embagem, rótulo, ...)	Tipo de fibra celulósica	Matriz				Superfície				Brancura CIE (%)	Brancura ISO (%)	Opacidade (%)	Luminescência (%)	Brilho Tappi (%)	Brilho CIE (%)	Resistên-cia à tracção (kN/m)	Resistên-cia à compres-são (mm)	Rigidez à tracção (mNm)	Rigidez ao encurva-mento (mNm)	teor Humidade TAPPI (%)	teor Humidade ISO (%)	pH da superfície	pH da massa	Conteúdo cinzas (%)	Conteúdo aditivos (%)		
				Gramagem (g/m²)	Espessura (µm)	Densidade aparente (g/cm³)	Índice de mão (cm³/g)	Porosidade (mL/min)	Rugosidade superficial (mL/min)	Rugosidade verso (mL/min)	Lisura superficial (mL/min)																	Lisura verso (mL/min)	
TerraPrint Silk	StoraEnso	offset		75	68					2.6 µm			97		92														
TerraPrint Silk	StoraEnso	offset		80	74					2.6 µm			97		93														
TerraPrint Silk	StoraEnso	offset		90	82					2.7 µm			97		94,5														
TerraPrint Silk	StoraEnso	offset		100	90					2.7 µm			97		95,5														
TerraPrint Silk	StoraEnso	offset		115	103					2.7 µm			97		96,5														
TerraPrint Silk	StoraEnso	offset		130	116					3.2 µm			100		97,5														
TerraPrint Silk	StoraEnso	offset		150	135					3.4 µm			100		98,5														
TerraPrint Silk	StoraEnso	offset		170	160					3.6 µm			100		99,5														
TerraPrint Gloss	StoraEnso	offset		65	57					1 µm			95		89														
TerraPrint Gloss	StoraEnso	offset		70	60					1 µm			95		90														
TerraPrint Gloss	StoraEnso	offset		75	60					1 µm			95		91														
TerraPrint Gloss	StoraEnso	offset		80	65					1 µm			95		92														
TerraPrint Gloss	StoraEnso	offset		90	70					1.1 µm			95		93,5														
TerraPrint Gloss	StoraEnso	offset		100	78					1.1 µm			95		95														
TerraPrint Gloss	StoraEnso	offset		115	85					1.1 µm			95		96														
TerraPrint Gloss	StoraEnso	offset		130	100					1.2 µm			95		97														
TerraPrint Gloss	StoraEnso	offset		150	110					1.2 µm			95		98														
TerraPrint Gloss	StoraEnso	offset		170	127					1.2 µm			95		99														
CosmoPrint Silk	StoraEnso	offset		80	75					1.8 µm			102		95														
CosmoPrint Silk	StoraEnso	offset		85	78					2.4 µm			104		94														
CosmoPrint Silk	StoraEnso	offset		90	83					2.4 µm			104		94,5														
CosmoPrint Silk	StoraEnso	offset		100	87					2.4 µm			104		95,5														
CosmoPrint Silk	StoraEnso	offset		115	102					2.7 µm			104		96,5														
CosmoPrint Silk	StoraEnso	offset		130	117					3.2 µm			104		97,5														
CosmoPrint Silk	StoraEnso	offset		150	135					3.4 µm			104		98,5														
CosmoPrint Silk	StoraEnso	offset		170	153					3.6 µm			104		99,5														
CosmoPrint Gloss	StoraEnso	offset		80	62					0.9 µm			100		94														
CosmoPrint Gloss	StoraEnso	offset		85	65					1 µm			102		93														
CosmoPrint Gloss	StoraEnso	offset		90	70					1 µm			102		93,5														
CosmoPrint Gloss	StoraEnso	offset		100	75					1 µm			102		95														
CosmoPrint Gloss	StoraEnso	offset		115	87					1.1 µm			102		96														
CosmoPrint Gloss	StoraEnso	offset		130	98					1.2 µm			102		97														
CosmoPrint Gloss	StoraEnso	offset		150	110					1.2 µm			102		98														
CosmoPrint Gloss	StoraEnso	offset		170	127					1.2 µm			102		99														
LumiPress Silk	StoraEnso	offset		90	77	1,18	0,85			2.3 µm			122		91														

Matriz de dados

Papel			Prop. Estruturais											Ópticas					Mecánicas				Físico-Químicas					
Marca	Fabricante	Função (impres. Digital, offset, embalagem, rótulo, ...)	Tipo de fibra celulósica	Matriz				Superfície				Brançura CIE (%)	Brançura ISO (%)	Opacidade (%)	Luminescência (%)	Brilho Tappi (%)	Brilho CIE (%)	Resistência à tracção (kN/m)	Resistência à compressão (mm)	Rigidez à tracção (mNm)	Rigidez ao encurvamento (mNm)	teor Humidade TAPPI (%)	teor Humidade ISO (%)	pH da superfície	pH da massa	Conteúdo cinzas (%)	Conteúdo aditivos (%)	
				Gramagem (g/m²)	Espessura (µm)	Densidade aparente (g/cm³)	Índice de mão (cm³/g)	Porosidade (mL/min)	Rugosidade superficial (mL/min)	Rugosidade verso (mL/min)	Lisura superficial (mL/min)																	Lisura verso (mL/min)
Primaprint	Bolloré			90	180	0,50	2						85	89														
Primabook	Bolloré			40	54	0,74	1,35					104	83	85														
Primabook	Bolloré			45	60,75	0,74	1,35					104	83	86														
Primabook	Bolloré			50	67,5	0,74	1,35					104	83	87														
Primabook	Bolloré			60	81	0,74	1,35					104	83	88														
Primabrite Brilliant	Bolloré			40	52	0,77	1,3					150	90,5	77	12.x													
Primabrite Brilliant	Bolloré			45	59	0,77	1,3					150	90,5	78	12.x													
Primabrite Brilliant	Bolloré			50	65	0,77	1,3					150	90,5	79	12.x													
Primabrite Brilliant	Bolloré			60	78	0,77	1,3					150	90,5	81	12.x													
Primabrite ultra	Bolloré			37	44	0,83	1,2					130	100	78,5	11													
Primabrite ultra	Bolloré			40	52	0,77	1,3					130	100	79,5	11													
Primabrite ultra	Bolloré			45	59	0,77	1,3					130	100	80,5	11													
Primabrite ultra	Bolloré			50	65	0,77	1,3					130	100	81,5	11													
Primabrite ultra	Bolloré			60	78	0,77	1,3					130	100	83,5	11													
Primapharm	Bolloré			40	52	0,77	1,3					104	83	85	8													
Primapharm	Bolloré			45	58	0,77	1,3					104	83	86	8													
Primapharm	Bolloré			50	65	0,77	1,3					104	83	87	8													
Primapharm	Bolloré			60	78	0,77	1,3					104	83	88	8													
Indopaque	Bolloré			22	26	0,85	1,18					87	78	78														
Indopaque	Bolloré			25	29	0,86	1,16					87	77	77														
Indolux	Bolloré			27	30	0,90	1,11					87	79,5	79,5														
Indolux	Bolloré			30	33	0,90	1,11					87	81,5	81,5														
G-Print Smooth	GRYCKS	offset e digital		90	82	1,10	0,91			1,8 µm		119		92		97		0,19										
G-Print Smooth	GRYCKS	offset e digital		100	91	1,10	0,91			1,8 µm		119		94,5		97		0,19										
G-Print Smooth	GRYCKS	offset e digital		115	107	1,08	0,93			1,8 µm		119		96		97		0,19										
G-Print Smooth	GRYCKS	offset e digital		130	125	1,04	0,96			1,8 µm		119		97		97		0,19										
G-Print Smooth	GRYCKS	offset e digital		150	145	1,03	0,97			1,8 µm		119		98		97		0,19										
G-Print Smooth	GRYCKS	offset e digital		170	165	1,03	0,97			1,8 µm		119		98.x		97		0,19										
G-Print Smooth	GRYCKS	offset e digital		200	203	0,98	1,02			2,2 µm		119		99,1		97		0,19										
G-Print Smooth	GRYCKS	offset e digital		230	235	0,98	1,02			2,2 µm		119		99,5		97		0,19										
G-Print Smooth	GRYCKS	offset e digital		250	255	0,98	1,02			2,2 µm		119		99,5x		97		0,19										
G-Print	GRYCKS	offset e digital		70	68	1,04	0,96			2,8 µm		117		87,5				0,17										
G-Print	GRYCKS	offset e digital		80	77	1,04	0,96			2,8 µm		117		90,5		95		0,17										
G-Print	GRYCKS	offset e digital		90	87	1,03	0,97			2,8 µm		117		92		95		0,17										
G-Print	GRYCKS	offset e digital		100	98	1,02	0,98			2,8 µm		117		93,5		95		0,17										

Matriz de dados

Papel			Prop. Estruturais											Ópticas					Mecánicas				Físico-Químicas					
Marca	Fabricante	Função (impres. Digital, offset, embalagem, rótulo, ...)	Tipo de fibra celulósica	Matriz				Superfície				Brancura CIE (%)	Brancura ISO (%)	Opacidade (%)	Luminescência (%)	Brilho Tappi (%)	Brilho CIE (%)	Resistência à tracção (kN/m)	Resistência à compressão (mm)	Rigidez à tracção (mNm)	Rigidez ao encurvamento (mNm)	teor Humidade TAPPI (%)	teor Humidade ISO (%)	pH da superfície	pH da massa	Conteúdo cinzas (%)	Conteúdo aditivos (%)	
				Gramagem (g/m²)	Espessura (µm)	Densidade aparente (g/cm³)	Índice de mão (cm³/g)	Porosidade (mL/min)	Rugosidade superficial (mL/min)	Rugosidade verso (mL/min)	Lisura superficial (mL/min)																	Lisura verso (mL/min)
Tecnomatt	Marchi	offset		150	143	1,05	0,95		65				97		98													
Tecnomatt	Marchi	offset		170	162	1,05	0,95		65				97		98 min													
Tecnomatt	Marchi	offset		200	190	1,05	0,95		65				97		98 min													
Tecnogloss Web	Marchi	offset		80	58	1,37	0,73						94,5		88													
Tecnogloss Web	Marchi	offset		90	66	1,37	0,73						94,5		90													
Tecnogloss Web	Marchi	offset		100	73	1,37	0,73						94,5		92													
Tecnogloss Web	Marchi	offset		115	84	1,37	0,73						94,5		93													
Tecnogloss Web	Marchi	offset		130	93	1,39	0,72						95		94													
Tecnogloss Web	Marchi	offset		150	108	1,39	0,72						95		96													
Tecnogloss Web	Marchi	offset		170	122	1,39	0,72						95		97													
Tecnosatin Web	Marchi	offset		80	66	1,20	0,83		30				97		88,5													
Tecnosatin Web	Marchi	offset		90	75	1,20	0,83		30				97		90,5													
Tecnosatin Web	Marchi	offset		100	81	1,23	0,81		30				97		93													
Tecnosatin Web	Marchi	offset		115	91	1,27	0,79		30				97		95													
Tecnosatin Web	Marchi	offset		130	99	1,32	0,76		30				97		96													
Tecnosatin Web	Marchi	offset		150	114	1,32	0,76		30				97		98													
Tecnosatin Web	Marchi	offset		170	134	1,27	0,79		30				97		98 min													
Tecnomatt Web	Marchi	offset		100	95	1,05	0,95		65				97		93													
Tecnomatt Web	Marchi	offset		115	109	1,05	0,95		65				97		95													
Tecnomatt Web	Marchi	offset		130	124	1,05	0,95		65				97		96													
Tecnomatt Web	Marchi	offset		150	143	1,05	0,95		65				97		98													
Tecnomatt Web	Marchi	offset		170	162	1,05	0,95		65				97		98 min													
Tecnolaser Web Satin	Marchi	offset		80	66	1,20	0,83		30				97		88,5													
Tecnolaser Web Satin	Marchi	offset		90	75	1,20	0,83		30				97		90,5													
Tecnolaser Web Satin	Marchi	offset		100	81	1,23	0,81		30				97		93													
Tecnolaser Web Satin	Marchi	offset		115	91	1,27	0,79		30				97		95													
Tecnolaser Web Satin	Marchi	offset		130	99	1,32	0,76		30				97		96													
Tecnolaser Web Satin	Marchi	offset		150	114	1,32	0,76		30				97		98													
Tecnolaser Web Satin	Marchi	offset		170	134	1,27	0,79		30				97		98 min													
Tecnolaser Web Matt	Marchi	offset		100	95	1,05	0,95		65				97		93													
Tecnolaser Web Matt	Marchi	offset		115	109	1,05	0,95		65				97		95													
Tecnolaser Web Matt	Marchi	offset		130	124	1,05	0,95		65				97		96													
Tecnolaser Web Matt	Marchi	offset		150	143	1,05	0,95		65				97		98													
Tecnoplus	Marchi	offset		115	124	0,93	1,08		100				96		97													
Tecnoplus	Marchi	offset		130	140	0,93	1,08		100				96		98													

Matriz de dados

Papel			Prop. Estruturais											Ópticas						Mecânicas				Físico-Químicas					
Marca	Fabricante	Função (impres. Digital, offset, embalagem, rótulo, ...)	Tipo de fibra celulósica	Matriz				Superfície				Brancura CIE (%)	Brancura ISO (%)	Opacidade (%)	Luminescência (%)	Brilho Tappi (%)	Brilho CIE (%)	Resistência à tracção (kN/m)	Resistência à compressão (mm)	Rigidez à tracção (mNm)	Rigidez ao encurvamento (mNm)	teor Humidade TAPPI (%)	teor Humidade ISO (%)	pH da superfície	pH da massa	Conteúdo cinzas (%)	Conteúdo aditivos (%)		
				Gramagem (g/m ²)	Espessura (µm)	Densidade aparente (g/cm ³)	Índice de mão (cm ³ /g)	Porosidade (mL/min)	Rugosidade superficial (mL/min)	Rugosidade verso (mL/min)	Lisura superficial (mL/min)																	Lisura verso (mL/min)	
Tecnoplus Web	Marchi	offset		115	124	0,93	1,08		100			96		97															
Tecnoplus Web	Marchi	offset		130	140	0,93	1,08		100			96		98															
Albatross Gloss	Marchi	offset		70								85		91															
Albatross Gloss	Marchi	offset		80								85		93,5															
Zanders Spectral	Zanders	offset		100	85																					7			
Zanders Spectral	Zanders	offset		200	150																					7			

Nota:
 Os dados recolhidos estão a preto.
 Os dados calculados estão a azul.
 Os dados determinados experimentalmente estão a verde.

ANEXO 2

**DETERMINAÇÕES EXPERIMENTAIS
TABELAS DE RESULTADOS DE *PH* SUPERFICIAL,
DE *PH* DA MASSA E DE OPACIDADE DO PAPEL**

Medição do pH do papel

Papéis Creator Gala Couché Premium 2 faces Brilhante e CreatorGala Matt Couché premium 2 faces Mate.

Papel	peso da amostra em		pH superfície	pH massa
	gramas	experiência nº		
Brilhante 115 g/m ²	0,747	1	7 a 8	8,88
	0,747	2	7 a 8	8,86
	0,747	3	7 a 8	8,92
	0,750	4	7 a 8	8,93
	0,750	5	7 a 8	8,93
	0,750	6	7 a 8	9,00
Media	0,749		7,5	8,92
Desvio padrão			-	0,05
Brilhante 125 g/m ²	0,752	1	7 a 8	8,64
	0,752	2	7 a 8	8,60
	0,752	3	7 a 8	8,65
	0,747	4	7 a 8	8,59
	0,747	5	7 a 8	8,70
	0,747	6	7 a 8	8,66
Media	0,750		7,5	8,64
Desvio padrão			-	0,04
Brilhante 135 g/m ²	0,750	1	7 a 8	9,00
	0,750	2	7 a 8	8,97
	0,750	3	7 a 8	8,95
	0,750	4	7 a 8	8,97
	0,750	5	7 a 8	9,98
	0,750	6	7 a 8	8,94
Media	0,750		7,5	9,14
Desvio padrão			-	0,41
Brilhante 150 g/m ²	0,746	1	7 a 8	9,06
	0,746	2	7 a 8	9,13
	0,746	3	7 a 8	9,20
	0,748	4	7 a 8	9,14
	0,748	5	7 a 8	9,15
	0,748	6	7 a 8	9,15
Media	0,747		7,5	9,14
Desvio padrão			-	0,05
Brilhante 170 g/m ²	0,754	1	7 a 8	9,10
	0,754	2	7 a 8	9,16
	0,754	3	7 a 8	9,11
	0,753	4	7 a 8	8,98
	0,753	5	7 a 8	9,06
	0,753	6	7 a 8	9,06
Media	0,754		7,5	9,08
Desvio padrão			-	0,06
Brilhante 200 g/m ²	0,750	1	7 a 8	9,07
	0,750	2	7 a 8	9,01
	0,750	3	7 a 8	9,01
	0,750	4	7 a 8	9,02
	0,750	5	7 a 8	8,99
	0,750	6	7 a 8	9,00
Media	0,750		7,5	9,02
Desvio padrão			-	0,03
Brilhante 225 g/m ²	0,750	1	7 a 8	8,96
	0,750	2	7 a 8	9,04
	0,750	3	7 a 8	9,06
	0,750	4	7 a 8	9,04
	0,750	5	7 a 8	9,01
	0,750	6	7 a 8	9,10
Media	0,750		7,5	9,04
Desvio padrão			-	0,05
Brilhante 250 g/m ²	0,748	1	7 a 8	8,90
Brilhante 270 g/m ²	0,750	1	7 a 8	8,86
	0,750	2	7 a 8	8,86
Media	0,750		7,5	8,86
Desvio padrão			-	0
Brilhante 300 g/m ²	0,750	1	7 a 8	8,80
	0,750	2	7 a 8	8,80
	0,750	3	7 a 8	8,66
	0,750	4	7 a 8	8,76
	0,750	5	7 a 8	8,82
Media	0,750		7,5	8,77
Desvio padrão			-	0,06
Brilhante 350 g/m ²	0,750	1	7 a 8	8,83
	0,750	2	7 a 8	8,82
	0,750	3	7 a 8	8,85
	0,750	4	7 a 8	9,05
	0,750	5	7 a 8	9,03
	0,750	6	7 a 8	9,03
Media	0,750		7,5	8,94
Desvio padrão			-	0,11
Mate 90 g/m ²	0,749	1	7 a 8	8,95

Medição do pH do papel

Papéis Creator Gala Couché Premium 2 faces Brilhante e CreatorGala Matt Couché premium 2 faces Mate.

Papel	peso da amostra em		pH superfície	pH massa
	gramas	experiência nº		
	0,749	2	7 a 8	8,96
	0,749	3	7 a 8	8,95
	0,751	4	7 a 8	9,19
	0,751	5	7 a 8	9,10
	0,751	6	7 a 8	9,14
Media	0,750		7,5	9,05
Desvio padrão			-	0,11
Mate 100 g/m ²	0,746	1	7 a 8	9,19
	0,746	2	7 a 8	9,20
	0,746	3	7 a 8	9,16
	0,748	4	7 a 8	9,20
	0,748	5	7 a 8	9,22
	0,748	6	7 a 8	9,23
Media	0,747		7,5	9,20
Desvio padrão			-	0,02
Mate 115 g/m ²	0,750	1	7 a 8	9,17
	0,750	2	7 a 8	9,12
	0,750	3	7 a 8	9,14
	0,750	4	7 a 8	9,35
	0,750	5	7 a 8	9,36
	0,750	6	7 a 8	9,33
	0,750	7	7 a 8	9,33
Media	0,750		7,5	9,26
Desvio padrão			-	0,11
Mate 135 g/m ²	0,750	1	7 a 8	9,15
	0,750	2	7 a 8	9,12
	0,750	3	7 a 8	9,05
	0,750	4	7 a 8	9,11
	0,750	5	7 a 8	9,06
	0,750	6	7 a 8	9,10
Media	0,750		7,5	9,10
Desvio padrão			-	0,04
Mate 150 g/m ²	0,750	1	7 a 8	9,38
	0,750	2	7 a 8	9,42
	0,750	3	7 a 8	9,45
	0,750	4	7 a 8	9,42
	0,750	5	7 a 8	9,43
	0,750	6	7 a 8	9,38
Media	0,750		7,5	9,41
Desvio padrão			-	0,03
Mate 170 g/m ²	0,749	1	7 a 8	9,26
	0,749	2	7 a 8	9,29
	0,749	3	7 a 8	9,25
	0,750	4	7 a 8	9,26
	0,750	5	7 a 8	9,28
	0,750	6	7 a 8	9,26
Media	0,750		7,5	9,27
Desvio padrão			-	0,02
Mate 200 g/m ²	0,746	1	7 a 8	9,23
	0,746	2	7 a 8	9,19
	0,746	3	7 a 8	9,22
	0,748	4	7 a 8	9,22
	0,748	5	7 a 8	9,22
	0,748	6	7 a 8	9,16
Media	0,747		7,5	9,21
Desvio padrão			-	0,03
Mate 300 g/m ²	0,750	1	7 a 8	8,99
	0,750	2	7 a 8	9,02
	0,750	3	7 a 8	9,05
	0,750	4	7 a 8	8,99
	0,750	5	7 a 8	9,01
	0,750	6	7 a 8	9,03
Media	0,750		7,5	9,02
Desvio padrão			-	0,02
Mate 350 g/m ²	0,750	1	7 a 8	9,04
	0,750	2	7 a 8	9,13
	0,750	3	7 a 8	9,13
	0,750	4	7 a 8	9,13
	0,750	5	7 a 8	9,13
	0,750	6	7 a 8	9,13
Media	0,750		7,5	9,12
Desvio padrão			-	0,04

Determinações experimentais da opacidade do papel

Papéis Creator Gala Couché Premium 2 faces Mate.

Papel: Creator Gala Matt 2 faces

Gramagem:90g

Amostra 1 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,977
c	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
y	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	

Amostra 1 em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,950
c	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
m	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	
y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Índice de Opacidade 0,972

Amostra 1 em cima de resma Face 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,982
c	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
y	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	

Amostra 1 em cima de suporte negro Face 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,950
c	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
m	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	
y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Índice de Opacidade 0,967

Amostra 2 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,982
c	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
y	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	

Amostra 2 em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,948
c	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	
m	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
y	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	

Índice de Opacidade 0,965

Média do Índice de Opacidade

96,81%

Erro associado

0,38%

Determinações experimentais da opacidade do papel

Papéis Creator Gala Couché Premium 2 faces Mate.

Papel: Creator Gala Matt 2 faces

Gramagem: 100g

Amostra 1 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,977
c	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
y	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	

Amostra 1 em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,957
c	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
m	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	
y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Índice de Opacidade 0,980

Amostra 1 em cima de resma Face 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,977
c	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
y	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	

Amostra 1 em cima de suporte negro Face 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,955
c	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
m	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	
y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Índice de Opacidade 0,977

Amostra 2 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,977
c	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
y	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	

Amostra 2 em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,955
c	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	
m	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
y	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	

Índice de Opacidade 0,977

Média do Índice de Opacidade

97,81%

Erro associado

0,14%

Determinações experimentais da opacidade do papel

Papéis Creator Gala Couché Premium 2 faces Mate.

Papel: Creator Gala Matt 2 faces

Gramagem: 115 g

Amostra 1 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,975
c	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
y	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	

Amostra 1 em cima de resma Face 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,975
c	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
y	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	

Amostra 1 em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,955
c	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
m	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	
y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Amostra 1 em cima de suporte negro Face 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,960
c	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
m	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	
y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Índice de Opacidade 0,980

Índice de Opacidade 0,985

Amostra 2 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,980
c	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
y	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	

Amostra 2 em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,960
c	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	
m	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
y	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	

Índice de Opacidade 0,980

Média do Índice de Opacidade

98,14%

Erro associado

0,29%

Determinações experimentais da opacidade do papel

Papéis Creator Gala Couché Premium 2 faces Mate.

Papel: Creator Gala Matt 2 faces

Gramagem: 135 g

Amostra 1 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,975
c	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
y	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	

Amostra 1 em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,960
c	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
m	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	
y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Índice de Opacidade 0,985

Amostra 1 em cima de resma Face 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,972
c	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
y	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	

Amostra 1 em cima de suporte negro Face 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,960
c	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
m	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	
y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Índice de Opacidade 0,987

Amostra 2 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,970
c	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
y	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	

Amostra 2 em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,960
c	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	
m	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
y	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	

Índice de Opacidade 0,990

Média do Índice de Opacidade

98,73%

Erro associado

0,25%

Determinações experimentais da opacidade do papel

Papéis Creator Gala Couché Premium 2 faces Mate.

Papel: Creator Gala Matt 2 faces

Gramagem: 170 g

Amostra 1 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,972
c	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
y	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	

Amostra 1 em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,962
c	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
m	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	
y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Índice de Opacidade 0,990

Amostra 1 em cima de resma Face 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,970
c	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
y	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	

Amostra 1 em cima de suporte negro Face 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,965
c	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
m	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	
y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Índice de Opacidade 0,995

Amostra 2 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,970
c	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
y	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	

Amostra 2 em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,965
c	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	
m	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
y	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	

Índice de Opacidade 0,995

Média do Índice de Opacidade

99,32%

Erro associado

0,29%

Determinações experimentais da opacidade do papel

Papéis Creator Gala Couché Premium 2 faces Mate.

Papel: Creator Gala Matt 2 faces

Gramagem: 200 g

Amostra 1 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,000
c	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Amostra 1 em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,000
c	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Índice de Opacidade 1,000

Amostra 2 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,000
c	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Amostra 2 em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,000
c	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Índice de Opacidade 1,000

Amostra 2 em cima de resma Face 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,987
c	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	
m	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	
y	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	

Amostra 2 em cima de suporte negro Face 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	R
v	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,000
c	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Índice de Opacidade 1,013

Média do Índice de Opacidade

100,00%

Erro associado

0,00%

Determinações experimentais da opacidade do papel

Papéis Creator Gala Couché Premium 2 faces Mate.

Papel: Creator Gala Matt 2 faces

Gramagem: 350 g

Amostra 1 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media	R
v	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,977
c	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
y	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	

Amostra 1 em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media	R
v	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,977
c	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
y	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	

Índice de Opacidade 1,000

Média do Índice de Opacidade

100,00%

Erro associado

0,00%

Amostra 1 em cima de resma Face 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media	R
v	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,977
c	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
y	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Amostra 1 em cima de suporte negro Face 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media	R
v	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,977
c	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Índice de Opacidade 1,000

Determinações experimentais da opacidade do papel

Papéis Creator Gala Couché Premium 2 faces Brilhante

Papel: Creator Gala Brilho 2 faces

Gramagem: 115g

Amostra 1 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Média	R
v	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,813
c	0,09	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,09	0,09	
m	0,09	0,09	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
y	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	

Amostra 1 em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Média	R
v	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,776
c	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	
m	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	
y	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	

Índice de Opacidade 0,818

Média do Índice de Opacidade

81,82%

Erro associado

0,00%

Papel: Creator Gala Brilho 2 faces

Gramagem: 125g

Amostra 1 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	Média	R
v	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,813
c	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	
m	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
y	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	

Amostra 1 em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Média	R
v	0,10	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,788
c	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
m	0,10	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	
y	0,11	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	

Índice de Opacidade 0,871

Média do Índice de Opacidade

87,10%

Erro associado

0,00%

Amostra 2 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	Média	R
v	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,813
c	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
m	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
y	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	

Amostra 2 em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	Média	R
v	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,776
c	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	
m	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	
y	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	

Índice de Opacidade 0,818

Amostra 2 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	Média	R
v	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,813
c	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	
m	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
y	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	

Amostra 2 em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	Média	R
v	0,10	0,10	0,11	0,10	0,11	0,10	0,10	0,788
c	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
m	0,10	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	
y	0,11	0,10	0,11	0,11	0,10	0,11	0,11	

Índice de Opacidade 0,871

Determinações experimentais da opacidade do papel

Papéis Creator Gala Couché Premium 2 faces Brilhante

Papel: Creator Gala Brilho 2 faces

Gramagem: 135g

Amostra 1 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	Média	R
v	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,810
c	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	
m	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
y	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	

Amostra 1 em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Média	R
v	0,10	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11	0,09	0,11	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,788
c	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
m	0,10	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	
y	0,11	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	

Índice de Opacidade 0,885

Média do Índice de Opacidade

88,48%

Erro associado

0,16%

Papel: Creator Gala Brilho 2 faces

Gramagem: 150g

Amostra 1 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	Média	R
v	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,808
c	0,09	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,09	0,08	
m	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
y	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	

Amostra 1 em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Média	R
v	0,10	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11	0,10	0,11	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,787
c	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
m	0,10	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	
y	0,11	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	

Índice de Opacidade 0,891

Média do Índice de Opacidade

89,14%

Erro associado

0,18%

Amostra 2 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	Média	R
v	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,810
c	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	
m	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
y	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	

Amostra 2 em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	Média	R
v	0,11	0,10	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,788
c	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
m	0,10	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	
y	0,11	0,10	0,11	0,11	0,10	0,11	0,11	

Índice de Opacidade 0,887

Amostra 2 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	Média	R
v	0,10	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,09	0,807
c	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	
m	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
y	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	

Amostra 2 em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	Média	R
v	0,11	0,10	0,11	0,10	0,11	0,10	0,11	0,785
c	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
m	0,10	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	
y	0,11	0,10	0,11	0,11	0,10	0,11	0,11	

Índice de Opacidade 0,889

Determinações experimentais da opacidade do papel

Papéis Creator Gala Couché Premium 2 faces Brilhante

Papel: Creator Gala Brilho 2 faces

Gramagem:200 g

Amostra 1 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	Média	R
v	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,813
c	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
m	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10	0,10	
y	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	

Amostragem em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	Média	R
v	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,794
c	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
m	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
y	0,10	0,10	0,11	0,11	0,10	0,11	0,10	0,10	

Índice de Opacidade 0,900

Média do Índice de Opacidade

90,71%

Erro associado

1,01%

Papel: Creator Gala Brilho 2 faces

Gramagem:225 g

Amostra 1 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	Média	R
v	0,09	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,810
c	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
m	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10	0,10	
y	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	

Amostragem em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	Média	R
v	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10	0,797
c	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
m	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
y	0,10	0,11	0,11	0,11	0,10	0,11	0,10	0,11	

Índice de Opacidade 0,928

Média do Índice de Opacidade

92,15%

Erro associado

0,85%

Amostra 1 em cima de resma Face 2

	1	2	3	4	5	6	7	Média	R
v	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,09	0,810
c	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
m	0,10	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,10	0,09	
y	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	

Amostragem em cima de suporte negro Face 2

	1	2	3	4	5	6	7	Média	R
v	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,794
c	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
m	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
y	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,11	

Índice de Opacidade 0,914

Amostra 1 em cima de resma Face 2

	1	2	3	4	5	6	7	Média	R
v	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,09	0,808
c	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
m	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,09	0,10	0,10	
y	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	

Amostragem em cima de suporte negro Face 2

	1	2	3	4	5	6	7	Média	R
v	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,10	0,792
c	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
m	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
y	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,11	

Índice de Opacidade 0,915

Determinações experimentais da opacidade do papel

Papéis Creator Gala Couché Premium 2 faces Brilhante

Papel: Creator Gala Brilho 2 faces

Gramagem:270 g

Amostra 1 em cima de resma Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	Média	R
v	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,09	0,10	0,802
c	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
m	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10	0,10	
y	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	

Amostragem em cima de suporte negro Face 1

	1	2	3	4	5	6	7	Média	R
v	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,797
c	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
m	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
y	0,10	0,11	0,11	0,11	0,10	0,11	0,10	0,11	

Índice de Opacidade 0,971

Média do Índice de Opacidade **97,08%**

Erro associado 0,03%

Amostra 1 em cima de resma Face 2

	1	2	3	4	5	6	7	Média	R
v	0,09	0,10	0,09	0,10	0,09	0,10	0,09	0,09	0,805
c	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	CG	0,09	
m	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,09	0,10	0,10	
y	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	

Amostragem em cima de suporte negro Face 2

	1	2	3	4	5	6	7	Média	R
v	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10	0,800
c	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
m	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
y	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,11	

Índice de Opacidade 0,971

ANEXO 3

INTERCORRELAÇÕES MODELOS

Intercorrelações

Sub-matriz couchés 8

	Gramagem	Espessura	Brancura CIE	Opacidade	Brilho Tappi	Humidade	pH da superfície	pH da massa
Gramagem		0,81	0,00	0,08	0,04	0,26	(1)	0,09
Espessura			0,22	0,76	0,05	0,02	(1)	0,00
Brancura CIE				0,03	0,78	0,19	(1)	0,29
Opacidade					0,17	0,56	(1)	0,03
Brilho Tappi						0,59	(1)	0,04
Humidade							(1)	0,45
pH da superfície								(1)

(1) - Valor constante de pH de superfície, pelo que não se define R²

Sub-matriz couchés 9

	Gramagem	Espessura	Densidade	Índice de mão	Brancura CIE	Brilho Tappi	Humidade	pH da superfície	pH da massa
Gramagem		0,99	0,14	0,17	(2)	0,52	(3)	(1)	0,10
Espessura			0,19	0,22	(2)	0,48	(3)	(1)	0,10
Densidade				1,00	(2)	0,00	(3)	(1)	0,03
Índice de mão					(2)	0,00	(3)	(1)	0,03
Brancura CIE						(2)	(3)	(1)	(2)
Brilho Tappi							(3)	(1)	0,05
Humidade								(1)	(3)
pH da superfície									(1)

(2) - Valor constante de brancura, pelo que não se define R²

(3) - Valor constante de humidade, pelo que não se define R²

Sub-matriz cartolinas 8

	Gramagem	Espessura	Lisura superficial	Lisura verso	Brilho Tappi	Rigidez à tracção DT	Rigidez ao encurv. DM	Humidade
Gramagem		1,00	(4)	(5)	(6)	1,00	1,00	0,91
Espessura			(4)	(5)	(6)	1,00	1,00	0,91
Lisura superficial				(5)	(6)	(4)	(4)	(4)
Lisura verso					(6)	(5)	(5)	(5)
Brilho Tappi						(6)	(6)	(6)
Rigidez à tracção DT							1,00	0,89
Rig. ao encurv. DM								0,90

(4) - Valor constante de lisura superficial, pelo que não se define R²

(5) - Valor constante de lisura do verso, pelo que não se define R²

(6) - Valor constante de brilho, pelo que não se define R²

Intercorrelações

Sub-matriz offset 7

	Gramagem	Espessura	Densidade aparente	Índice de mão	Rugosidade	Brancura CIE	Opacidade
Gramagem		0,9559	0,0431	0,0451	0,0707	n.d.	0,3672
Espessura			0,1588	0,1626	0,0086	0,0069	0,2865
Densidade aparente				0,9920	0,6827	0,0744	0,0009
Índice de mão					0,7316	0,0685	0,0023
Rugosidade						0,4861	0,0848
Brancura CIE							0,0460

n.d. - Não determinado, valor de $R^2 = 6E-05$ indefinido

Modelos / equações derivadas por relações lineares multiparamétricas

Modelos	n	validação	R ²
Branc = F(gramag; brilho; humidade)	20	Branc=147,7+0,004 gram - 0,097 bril - 0,507 hum	0,96
Branc = F(espess; brilho; pH massa)	19	Branc=121,46+0,007 esp-0,063 bril -0,058 pH massa	0,86
Branc = F(opac; índim; espess)	58	Branc = 217,087 - 1,380 opac - 0,048 índm + 0,174 esp	0,17
Branc = F(rug; dens; espess)	26	Branc = 102,858 - 0,9 rug + 15,61 dens + 0,011 esp	0,81
Branc = F(rug; dens; espess)	24	Branc = 102,858 - 0,9 rug + 15,61 dens + 0,011 esp	0,98
Branc = F(dens; espess)	24	Branc = 95,415 + 19,584 dens + 0,018 esp	0,92
Branc = F(rug; espess)	24	Branc = 125,189 -3,134 rug + 0,003 esp	0,91
Branc = F(rug; dens)	24	Branc = 118,766 - 2,376 rug + 4,873 dens	0,93
Branc = F(rug)	24	Branc = 125,542 - 3,102 rug	0,90
Branc = F(rug; dens; espess)	45	Branc = 98,545 - 0,012 rug - 0,818 dens + 0,001 esp	0,51
Branc = F(gramg; briho; rug)	87	Branc = -185,72 + 0,007gram + 3,091 bri + 0,414 rug	0,90
Branc = F(gram; bril)	87	Branc = -182,76 + 0,008 gram + 3,068 bri	0,90
Branc = F(gram; rug)	87	Branc = 103,66 + 0,078 gram - 1,839 rug	0,26
Branc = F(bri; rug)	87	Branc = -191,63+ 3,165 bril + 0,402 rug	0,90
Branc = F(índm; rug)	52	Branc = 131,308 - 10,046 índm - 1,17 rug	0,74
Branc = F(índm; rug)	45	Branc = 83,022 + 13,385 índm + 0,07 rug	0,25
Branc = F(opac; bril)	14	Branc = 65,689 + 0,604 índm - 0,091 rug	0,95
Branc = F(opac; bril)	91	Branc = -47,90 + 0,798 opac + 0,863 bril	0,65
Branc = F(rug; espess)	62	Branc = 94,896 + 0,547 rug + 0,103 esp	0,26
Branc = F(rug; espess)	58	Branc = 80,775+ 0,267 índm + 0,043 espess	0,71
Brilho = F(gram; branc; hum)	20	Brilho = 1464,84 + 0,031 gram - 9,61 branc - 5,71 hum	0,98
Brilho = F(gram; branc ; hum) sem a0	20	Brilho = -0,022g + 3,797 branc - 8,179 hum	0,78
Brilho = F(branc ; rug)	82	Brilho = 61,563 + 0,301 branc + 0,864 rug	0,96
Brilho = F(branc)	82	Brilho = 62,466 + 0,298 branc	0,95
Índm = F(g;espe)	71	Índm = 0,925 - 0,006 gram + 0,007 esp	0,91
Índm = F(g;espe)	71	Índm = 0,006 gram - 0,001 esp	0,85
Índm = F(g;espe; rug)	26	Índm = 1,00 - 0,009 gram + 0,009 esp - 0,003 rug	0,97
Índm = F(g;espe; rug)	45	Índm = 1,00 - 0,009 gram + 0,009 esp - 0,003 rug	0,98
Índm = F(g; rug)	26	Índm = 0,593 - 0,001 gram + 0,110 rug	0,76
Índm = F(g; rug)	45	Índm = 0,617 + 0,001 gram + 0,004 rug	0,88
Opac = F(brilho; hum; pH massa)	13	Opac = 91,357 + 0,010 bri - 0,932 h + 5,40 pH m	0,74
Opac = F(gram; hum; pH massa)	13	Opac = 64,258 + 0,028 gram - 0,017 h + 3,094 pH m	0,89
Opac = F(branc; dens; g)	58	Opac = 92,946 - 0,039branc - 2,41dens + 0,708g	0,73
Opac = F(esp; hum; pH superfície)	14	Opac = 96,531 + 0,031 espss - 0,0992 hum + 0	0,76
Opac = F(esp; hum)	14	Opac = 96,531 + 0,031 espss - 0,0992 hum	0,76
Opac = F(esp; hum; pH massa)	14	Opac = 77,628 + 0,025 espss - 0,401 hum + 3,783 pH s	0,80
Opac = F(branc; hum; gram)	14	Opac = 74,214 - 0,008 branc + 0,347 hum + 0,035 gram	0,85
Opac = F(brilh, hum)	14	Opac = 138,211 - 0,009 bril - 0,87 hum	0,57
Opac = F(brilh, pH superf)	14	Opac = 93,758 + 0,037 bril	0,17
Opac = F(brilh, pH massa)	14	Opac = 83,325 + 0,041 bril + 1,129 pH massa	0,18
Opac = F(brilh; gram)	23	Opac = 91,744 - 0,0112 bril + 0,029 gram	0,79
Opac = F(brilh; gram)	116	Opac = 91,888 - 0,0148 bril + 0,036 gram	0,63
Opac = F(brilh; branc)	14	Opac = 5,834 + 0,273 bril + 0,0687 branc	0,69
Opac = F(brilh; branc)	14	Opac = 0,289 bril + 0,733 branc	1,00
Opac = F(brilh; branc)	91	Opac = 96,248 - 0,122 bril + 0,101 branc	0,11
Opac = F(brilh; branc)	91	Opac = 0,175 bril + 0,678 branc	0,99
Opac = F(gram; hum)	14	Opac = 70,061 + 0,072gram + 1,754 hum	0,85
Opac = F(gram; hum)	14	Opac = 0,072gram + 1,754 hum	1,00
Opac = F(gram; pH massa)	14	Opac = 56,067 + 0,030 gram + 3,850 hum	0,88
Opac = F(gram; branc)	177	Opac = 88,822 + 0,069 gram - 0,032 branc	0,59
Opac = F(gram; branc)	149	Opac = 84,912 + 0,104 gram - 0,027 branc	0,78
Opac = F(gram)	145	Opac = 84,261 + 0,087 gram	0,78
Opac = (hum; pH massa)	14	Opac = 90,045 - 1,090 hum + 6,438 pH m	0,69
Opac = (hum; branc)	14	Opac = 103,213 - 0,835hum + 0,278 branc	0,63
Opac = (hum; brilh)	14	Opac = 138,21 - 0,871 hum - 0,009 bril	0,57

ANEXO 4

ARQUITECTURAS DE REDES DE KOHONEN

Arquitectura da rede SOM

Tabela Rede - Brancura A

Descritores=3 / n=216 / n Treino= 163 / n Teste= 53

	Dimensão	Vel.inicial de aprendizagem	Nº interações	velocidade	Factor cluster	% previsão	A	B	C	D
R1	13x13	6	50	0,9	3,07	39,62%	0%	10,14%	31,12%	0%
R2	13x13	6	100	0,9	2,47	43,39%	0%	64,28%	31,12%	0%
R3	12x12	6	100	0,9	3,07	30,18%	0%	35,71%	31,25%	16,67%
R4	13x13	5	100	0,9	3,05	35,84%	0%	57,14%	18,75	16,67%

Tabela Rede - Brancura B

Descritores=4 / n=178 / n Treino= 135 / n Teste= 43

	Dimensão	Vel.inicial de aprendizagem	Nº interações	velocidade	Factor cluster	% previsão	A	B	C	D
R1	12x12	6	50	0,9	2,75	53,49%	60%	40%	50%	25%
R2	12x12	6	100	0,9	3,68	62,79%	83,33%	40%	0%	0%
R3	11x11	6	100	0,9	2,78	65,12%	23,33%	40%	50%	25%
R4	10x10	6	100	0,9	3,60	44,19%	70%	40%	100%	25%
R5	14x14	5	100	0,9	3,39	60,46%	23,33%	40%	0%	25%

Tabela Rede - Brancura C

Descritores=7 / n=48 / n Treino= 36 / n Teste= 12

	Dimensão	Vel.inicial de aprendizagem	Nº interações	velocidade	Factor cluster	% previsão	A	B	C	D
R1	7x7	3	50	0,9	9	83,33%	100%	-	-	0%
R2	8x8	3	100	0,5	7	100%	100%	-	-	100%

Tabela Rede - Brancura D

Descritores=5 / n=140 / n Treino= 105 / n Teste= 35

	Dimensão	Vel.inicial de aprendizagem	Nº interações	velocidade	Factor cluster	% previsão	A	B	C	D
R1	11x11	5	50	0,9	1,58	40%	35%	75%	40%	0%
R2	10x10	5	100	0,9	0,78	42,86%	50%	50%	40%	0%
R3	11x11	6	100	0,9	1,85	34,28%	20%	50%	50%	0%

Tabela Rede - Brancura E

Descritores=5 / n=140 / n Treino= 105 / n Teste= 35

	Dimensão	Vel.inicial de aprendizagem	Nº interações	velocidade	Factor cluster	% previsão	A	B	C	D
R1	13x13	6	50	0,9	2,18	56,86%	75%	73%	46,15%	12,5%
R2	13x13	6	100	0,9	2,93	54,90%	100%	57,69%	69,23%	0%
R3	12x12	5	100	0,9	1,80	56,86%	75%	73%	53,84%	0%

Arquitectura da rede SOM

Tabela Rede - Opacidade A

Descritores=3 / n=177 / n Treino= 132 / n Teste= 45

	Dimensão	Velocidade inicial de aprendizagem	Nº interações	velocidade	Factor cluster	% previsão	A	B	C	D
R1	12x12	6	100	0,9	4,8	87%	69%	85%	100%	50%
R2	12x12	4	100	0,9	4,8	88,9%				
R3	12x12	3	100	0,9	4,7	87%				
R4	10x10	4	100	0,9	3,9	84,5%				
R5	13x13	4	100	0,9	4,4	95,6%				

Tabela Rede - Opacidade B

Descritores= 6 / n=45 / n Treino= 34 / n Teste= 11

	Dimensão	Vel. inicial de aprendizagem	Nº interações	velocidade	Factor cluster	% previsão	A	B	C	D
R1	6x6	3	100	0,9	3,94	90,9%	100%		66,7%	100%
R2	6x6	3	50	0,9	4,22	90,9%	100%		66,7%	100%
R3	5x5	3	100	0,9	3,40	27,2%	100%		33,3%	42,8%
R4	7x7	3	50	0,9	4,30	45,4%	100%		0%	42,8%
R5	6x6	4	50	0,9	2,5	45,4%	100%		0%	42,8%
R6	6x6	4	100	0,9	3,34	27,2%	100%		33,3%	42,8%
R7	6x6	2	100	0,9	4	54,5%	100%		0%	71,4%

Tabela Rede - Opacidade C

Descritores=7 / n=48 / n Treino= 36 / n Teste= 12

	Dimensão	Vel. inicial de aprendizagem	Nº interações	velocidade	Factor cluster	% previsão	A	B	C	D
R1	7x7	3	100	0,9	2,97	58,3%	100%	0%	0%	100%
R2	7x7	5	100	0,9	2,84	58,3%	100%	0%	0%	100%
R3	8x8	4	100	0,9	3,08	58,3%	100%	0%	0%	100%
R4	9x9	4	100	0,9	3,22	75%	100%	0%	50%	100%
R5	9x9	3	100	0,9	3,86	75%	100%	0%	50%	100%
R6	9x9	3	150	0,9	4,06	75%	100%	0%	50%	100%
R7	9x9	5	100	0,9	3,57	58,3%	100%	0%	0%	100%
R8	9x9	2	100	0,9	4,38	75%	100%	0%	50%	100%
R9	9x9	2	150	0,9	3,22	75%	100%	0%	50%	100%
R10	8x8	5	100	0,9	3,59	75%	100%	0%	50%	100%

Arquitetura da rede SOM

Tabela Rede - Opacidade D

Descritores=5 / n=140 / n Treino= 105 / n Teste= 35

	Dimensão	Vel. inicial de aprendizagem	Nº interações	velocidade	Factor cluster	% previsão	A	B	C	D
R1	11x11	5	50	0,9	4,30	82,86%	100%	50%	55,56%	95,24%
R2	11x11	5	100	0,9	3,79	88,5%	100%	50%	66,67%	100%
R3	10x10	5	100	0,9	4,30	85,7%	100%	50%	55,56%	100%
R4	10x10	4	100	0,9	3,98	80%	66,67%	50%	66,67%	90,97%
R5	11x11	4	100	0,9	4,07	85,71%	100%	50%	66,67%	95,24%
R6	10x10	4	100	0,9	3,3	85,71%	100%	50%	66,67%	95,24%
R7	10X10	6	100	0,9	4,18	82,86%	100%	50%	66,67%	90,48%
R8	9x9	5	100	0,9	3,22	74,28%	66,67%	50%	55,56%	85,71%
R9	11x11	5	75	0,9	4,32	77,14%	100%	77,14%	44,44%	85,71%
R10	11x11	5	120	0,9	3,97	80%	66,67%	50%	44,44%	100%

Tabela Rede - Opacidade E

Descritores=7 / n=20 / n Treino= 15 / n Teste= 5

	Dimensão	Vel. inicial de aprendizagem	Nº interações	velocidade	Factor cluster	% previsão	A	B	C	D
R1	5x5	2	50	0,9	2,04	60%	0%	100%	0%	100%

Tabela Rede - Opacidade F

Descritores=3 / n=201 / n Treino= 150 / n Teste= 51

	Dimensão	Vel. inicial de aprendizagem	Nº interações	velocidade	Factor cluster	% previsão	A	B	C	D
R1	13x13	6	50	0,9	6,94	86,27%	100%	0%	37,5%	97,56%
R2	13x13	6	100	0,9	6,87	88,23%	100%	0%	50%	97,56%
R3	13x13	5	100	0,9	6,96	86,27%	100%	0%	50%	95,12%
R4	14x14	6	100	0,9	7,31	86,27%	100%	0%	50%	95,12%
R5	13x13	4	100	0,9	6,87	86,27%	100%	0%	37,5%	97,56%
R6	13x13	6	120	0,9	7,09	86,27%	100%	0%	37,5%	97,56%
R7	12x12	6	100	0,9	6,85	88,23%	100%	0%	50%	97,56%
R8	11x11	6	100	0,9	6,64	88,23%	100%	0%	50%	97,56%
R9	10x10	6	100	0,9	6,96	86,27%	100%	0%	37,5%	97,56%
R10	13x13	7	100	0,9	6,94	86,27%	100%	0%	37,5%	97,56%
R11	12x12	5	100	0,9	7	90,20%	100%	0%	62,5%	97,56%

Índice de tabelas e figuras

Tabela 1: Composição média de madeira de Coníferas e Folhosas.	13
Tabela 2: Analogia entre RNA e RNN.	40
Tabela 3: Valores médios e desvios padrão relativos ao <i>pH</i> superficial e ao <i>pH</i> da massa dos papéis analisados.	49
Tabela 4: Valores médios e desvios padrão relativos à opacidade dos papéis analisados.	51
Tabela 5: Valores de opacidade experimentais e declarados pelo fabricante de papéis Creator Gala	56
Tabela 6: Modelos de brancura do papel: $Bra = a_0 + a_1 Rug + a_2 Dens + a_3 Esp$	59
Tabela 7: Modelos de brilho do papel: $Br = a_0 + a_1 Bra + a_2 Rug$	61
Tabela 8: Modelos de opacidade do papel: $Op = a_0 + a_1 Gr + a_2 Bra$	62
Tabela 9: Opacidade prevista, experimental e % de erro de previsão.	63
Tabela 10: Activação de neurónios por papéis de classes diferentes na submatriz (ii)	67
Tabela 11: Redes SOM para previsão da classificação de Brancura e da Opacidade de papéis.	68
Figura 1: Testes químicos laboratoriais efectuados sobre o papel para a identificação da pasta de origem.	16
Figura 2: Representação do corpo de impressão no método <i>offset</i> .	17
Figura 3: Representação do corpo de impressão em rotogravura.	18
Figura 4: Propriedades do papel.	21
Figura 5: Esquematização do processo de desenvolvimento das Redes Neurais Artificiais.	39
Figura 6: Funcionamento das RNA à semelhança das RNN.	39
Figura 7: Arquitectura e Processamento SOM.	41
Figura 8: Análises potenciométricas: determinação do <i>pH</i> da massa do papel.	47
Figura 9: Determinação do <i>pH</i> da superfície do papel utilizando papel de tornesol.	48
Figura 10: Opacidade <i>versus</i> Gramagem de papéis Creator Gala Brilhantes – Valores experimentais e valores fornecidos pelo fabricante.	57
Figura 11: Opacidade <i>versus</i> Gramagem de papéis Creator Gala Mate – Valores experimentais e valores fornecidos pelo fabricante.	57
Figura 12: Opacidade <i>versus</i> Gramagem de papéis Creator Gala com Brilho e Mate	58
Figura 13: Comparação entre a Brancura experimental e Brancura prevista para os 8 papéis do conjunto de teste.	60
Figura 14: Brilho experimental <i>versus</i> Brilho previsto pelo modelo uni-paramétrico.	62
Figura 15: Opacidade experimental <i>versus</i> Opacidade prevista para os 35 papéis do conjunto de teste, pelo modelo uniparamétrico.	63
Figura 16: Opacidade prevista e experimental dos papéis Creator Gala Brilho	64
Figura 17: Opacidade prevista e experimental dos papéis Creator Gala Mate	64
Figura 18: Rede SOM (dim = 13x13; ils=5; 100 epochs) 216 papéis; 3 descritores	66
Figura 19: Rede SOM (dim = 12x12; ils=5; 60 epochs) 140 papéis; 5 descritores	66

Glossário de símbolos e abreviaturas

a.C.	antes de Cristo
ANOVA	Análise de variâncias
BPNN	<i>Back Propagation Neural Network</i> (Rede neuronal artificial supervisionada com o algoritmo de <i>Back-propagation</i>)
CaCO ₃	sulfato de magnésio
CaSO ₄	sulfato de cálcio / gesso
CELPA	Associação da Indústria Papeleira
CIE	Comissão Internacional de Iluminação.
Exp	experimental
Fabric	fabricante
g/m ²	grama por metro quadrado
g/mL	grama por mililitro
H ₂ S	sulfureto de hidrogénio
ISO	Organização Internacional de Standardização
kPa	quilopascal
kgf	quilograma força
LMO	<i>Leave many out</i> (teste de validação cruzada)
MgCO ₃	carbonato de magnésio
Mg ₃ Si ₄ O ₁₀	talco
mm ²	milímetro quadrado
mNm	miliNewton metro
NaOH	hidróxido de sódio
Na ₂ S	sulfureto de sódio
NP EN ISO	normas portuguesas da Organização Internacional de Standardização
PE	polietileno
PET	tereftalato de polietileno
pH	potencial de hidrogénio
PP	polipropileno
PVC	policloreto de vinilo
QSPR	<i>Quantitative structure–property relationship</i> (Relações quantitativas estrutura- - propriedade)
RLM	Regressões lineares multiparamétricas
RNA	Redes neuronais artificiais
Si ₂ Al ₂ O ₅ (OH) ₄	argila
SOM	<i>Self Organizing Maps</i> (Redes neuronais artificiais não supervisionadas)
TAPPI	Associação Mundial das Indústrias de Transformação de celulose, papel e embalagens.
TiO ₂	dióxido de titânio

UV	ultra-violeta
ZnSO ₄	sulfato de zinco
μm/(Pa.s)	micrómetro por pascal segundo