

ESTRUTURAS TÊXTEIS FABRICADAS POR MANUFATURA ADITIVA: ANÁLISE COMPARATIVA

Matheus Corrêa

Franco Giuseppe Dedini

Bruna Monique Souza Silva

Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas - FEM/UNICAMP, Rua Mendeleev, 200 - CEP 13083-860

mcorreadesign@gmail.com; dedini@fem.unicamp.br; moonique.bms@gmail.com

Adriana Yumi Sato Duarte

Centro Universitário Nossa Senhora do Patrocínio - CEUNSP, Praça Antônio Vieira Tavares, 73 – Centro – Salto/SP, CEP: 13320219

adriana.duarte@ceunsp.edu.br

Resumo. O objetivo da pesquisa é avaliar a viabilidade de fabricação de seis protótipos de estruturas têxteis em escala doméstica utilizando a tecnologia de Manufatura Aditiva e compará-las nos quesitos de: quantidade de elos, velocidade e tempo de impressão, cobertura e consumo de material e peso dos arquivos digitais. Ao executar a etapa experimental da presente pesquisa, percebeu-se que fatores como tempo de impressão, velocidade de cobertura e tamanho do arquivo digital podem ser requisitos de projeto que auxiliam o projetista na tomada de decisão no momento da escolha da estrutura que melhor atenda seu produto. Cabe ressaltar que nenhuma das estruturas se sobressai em todos os parâmetros; a escolha da estrutura têxtil ideal fica a cargo do objetivo usuário e da necessidade funcional do uso. Entretanto, percebe-se o campo de aplicação desta tecnologia que poderá modificar a produção têxtil global.

Palavras chave: manufatura aditiva, estrutura têxtil, Moda

1. INTRODUÇÃO

A Manufatura Aditiva (MA), popularmente conhecida como impressão 3D, geralmente produz objetos por meio da adição de material, camada por camada, a partir de um arquivo digital 3D. Os modelos tridimensionais podem ser produzidos por meio de diferentes processos, sendo o mais comum o uso de softwares de desenhos CAD (*Computer Aided Design*).

Segundo o Instituto McKinsey Global (2013), a MA figura entre as 12 tecnologias disruptivas que poderá impactar profundamente a economia global até 2025. Além disso, com o contínuo melhoramento dos equipamentos, o rápido desenvolvimento de novos materiais e a redução dos custos de fabricação, é possível afirmar que a MA poderá ser aplicada em diferentes áreas (Giordano et al., 2016).

Um exemplo de aplicação da MA está na indústria da Moda que, ao incorporar essa tecnologia, abre um novo universo de possibilidades de desenvolvimento de estruturas têxteis aplicadas ao vestuário. Outro ponto importante da MA é o papel ativo do usuário no desenvolvimento de um produto em escala doméstica, com domínio na fabricação e no desenho (Anderson, 2012).

Assim, o objetivo da pesquisa é avaliar a viabilidade de fabricação de seis protótipos de estruturas têxteis em escala doméstica e compará-las nos quesitos de: quantidade de elos, velocidade e tempo de impressão, cobertura e consumo de material e peso dos arquivos digitais.

2. CENÁRIO DA PESQUISA

2.1 Manufatura Aditiva

As primeiras impressoras tridimensionais surgiram na década de 1980, conhecidas como Prototipagem Rápida (PR), Manufatura Aditiva (MA) e Impressão 3D. O termo prototipagem rápida provém de uma das finalidades dessas máquinas: produzir protótipos tridimensionais de produtos de uma maneira rápida e generalizada. No âmbito técnico, a terminologia aplicada e adotada pela ASTM (*American Society for Testing and Materials*) é Manufatura Aditiva (MA) que também será usada na presente pesquisa (Giordano et al, 2016).

A Manufatura Aditiva foi utilizada, inicialmente, no Japão por Hideo Kodama. Em 1980, ele utilizou a estruturação por camadas para recriar figuras topográficas e esculturais, conhecida como prototipagem rápida (*Rapid Prototyping/ RP*); porém, devido a problemas ocorridos, o registro da patente não foi efetuado. Apesar disso, quem é conhecido como

criador da impressão 3D é o americano Chuck Hull, patenteando a primeira impressora 3D do mundo em 1986 e descobrindo uma conexão entre um arquivo CAD (*Computer Aided Design*) com um sistema de RP para construir peças modeladas por computador (Deters e Colling, 2017).

Estruturando-se uma linha do tempo para a impressão 3D, pode-se colocar que a partir da patente da impressora 3D SLA de Chuck Hull, de 1986, este cofundou a primeira empresa da área, a 3D Systems no mesmo ano. Após isso, outras formas de impressão foram criadas pela empresa, como a sintetização, entre outras; mantendo-se como uma das mais importantes do ramo até hoje (Deters e Colling, 2017). Em 1989, também nos Estados Unidos, Scott Crump, o cofundador da empresa Stratasys, inicia o processo de patenteamento de um novo processo de impressão 3D, denominado de *Fused Deposition Modelling* (FDM), sendo a patente emitida em 1992. A FDM (*Fused Deposition Modeling*) é popular por trabalhar com polímeros termoplásticos, com elevada gama de propriedades físicas, os quais influenciam diretamente o comportamento mecânico e estético do produto final, podendo ser rígido ou flexível, translúcido ou colorido, permitindo o seu uso na produção de diversos itens (Santos, 2016).

Atualmente, os Estados Unidos detêm 43% das máquinas, despontando como o líder mundial na área de MA, seguida pela Europa com 30%, Ásia e região do Pacífico com 23%. A exportação se divide entre Europa e Estados Unidos (Souza, 2016). Em 2013, foi eleita como uma das 12 tecnologias mais inovadoras do mercado global até 2025. E, em 2015 foi apontado que o mercado do MA possui uma taxa de crescimento atual de 30% até 2020 (Braga, 2017).

No Brasil, com o intuito de estabelecer uma conexão e apoio entre os pesquisadores sobre a temática, foi estruturada no ano de 2011 a Rede de Manufatura Aditiva (RMA). As pesquisas desenvolvidas demonstram uma consolidação da área nos meios científicos e tecnológicos evidenciando o potencial da RMA para o apoio à competitividade das empresas nacionais (Costa e Volpato, 2013). Nas empresas brasileiras a técnica e os materiais de MA ainda são inviáveis comparados a manufatura convencional para produção em larga escala. Em paralelo, a maior parte das máquinas são aptas a produzir pequenas peças por uma limitação de área de trabalho, o que desestimula as indústrias brasileiras a investir na tecnologia MA (SOUZA, 2016).

2.2 Manufatura Aditiva aplicada à Moda

No campo da Moda, a aplicação da MA teve sua primeira peça impressa vestível em 2000, desenvolvido pelo engenheiro industrial holandês Jiri Evenhuis junto com o designer industrial Janne Kytanen. Várias marcas já vêm inserindo esse procedimento em suas produções; no entanto, a maioria das marcas de vestuário e/ou calçado que trabalham ou já trabalharam com essa tecnologia a utiliza mais para criação de peças protótipos do que de peças para venda. São exemplos deste procedimento as marcas de calçados Nike e Adidas, que possuem protótipos de calçados com a impressora 3D. A maioria das marcas que utilizam a tecnologia em sua produção são estrangeiras, como a Chanel, que trabalha com peças feitas em filamentos de plástico que são fixadas a peças feitas em tecidos e processos de confecções convencionais (Oliveira et al, 2017).

As roupas impressas passaram por mudanças até as criações mais recentes, com destaque às produções da designer de moda holandesa Iris Van Herpen, que aproveita uma maior gama de materiais impressos. Em decorrência disto, podem-se gerar inovações tecnológicas que possibilitam novas aplicações e possibilidade para o vestuário, atribuindo características como maior flexibilidade, movimento e diferencial tátil/visual da peça final. A tecnologia de impressão 3D ainda está em crescente aplicação no design de moda, proporcionando resultados diferenciados em relação aos demais processos que vinham sendo utilizados (Minuzzi e Kuhn, 2015). Percebe-se que a adoção desta tecnologia de manufatura no campo da Moda é recente, e ainda apresenta um vasto campo de novas possibilidades de aplicação, tanto na adaptação desta tecnologia para a realidade da cadeia têxtil e de vestuário, como para o desenvolvimento de novos produtos. Assim, a presente pesquisa opta pelo caminho da adaptação da tecnologia, como forma de preencher uma das diversas lacunas do conhecimento que o tema demanda.

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

A presente pesquisa apresenta procedimentos de pesquisa experimental, ao construir digitalmente e fisicamente as amostras, e bibliográfica, ao basear-se em publicações prévias dos temas pilares da pesquisa. Além disso, caracteriza-se como uma pesquisa básica por contribuir para o avanço do tema.

Assim, inicialmente, foi realizado um levantamento bibliográfico de estruturas têxteis fabricadas por meio de MA. Para reprodução das estruturas em escala doméstica, os seguintes critérios foram adotados: (a) seleção das geometrias: foram escolhidas as estruturas que apresentavam apenas um único elo, de mesmo tamanho, repetido em todas as possíveis conexões dentro da área de impressão; (b) padronização das estruturas para impressão: para um melhor resultado comparativo, aspectos como tamanho da amostra, a espessura dos elos, área total de cobertura das estruturas têxteis foram padronizadas; e (c) impressão das estruturas: atenção ao espaço mínimo entre os elos para evitar junção indesejada durante a impressão e à espessura mínima para que os elos não quebrassem com a manipulação.

Tendo como base os critérios supracitados, as seis estruturas têxteis escolhidas são mostradas na Fig. 1.

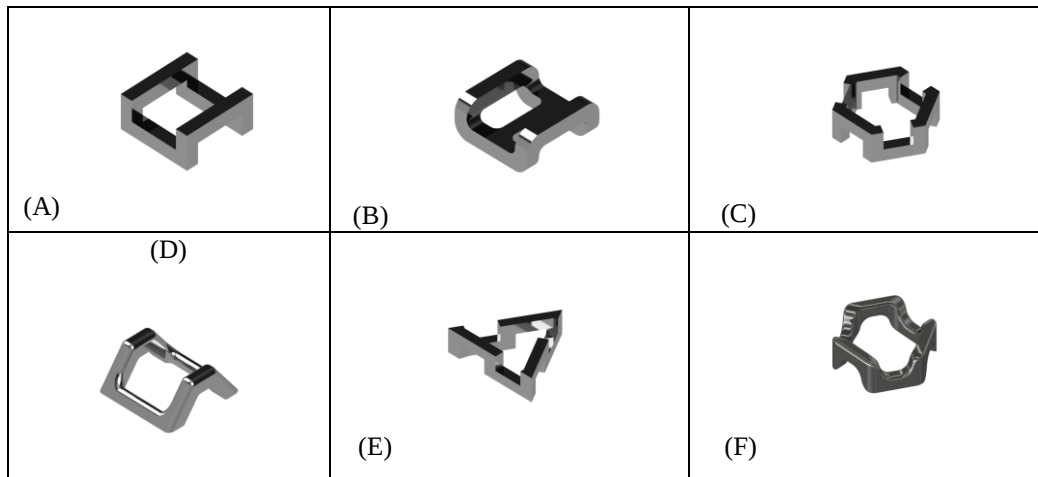


Figura 1. Renderização das Estruturas Têxteis: ET1 (A), ET2 (B), ET3 (C), ET4 (D), ET5 (E), ET6(F) (Autores)

A impressão das estruturas foi feita pelo processo FDM, utilizando a impressora S3 da Sethi3D, com volume de impressão de 270x270x320 mm, capacidade de imprimir camadas de 0.05 a 0.3 mm de espessura e bico padrão de 0.4mm. O material utilizado na impressão dos protótipos foi o ABS e utilizou-se um único rolo de filamento para todas as estruturas, de modo a garantir a mesma condição de material.

A configuração dos parâmetros de impressão consiste em:

- *Extruder: Nozzle Diameter 0,4mm; Retraction Distance, 1,5mm; Retraction Speed 40mm/s;*
- *Speeds: Speeds Default 100mm/s; Outline Speed -35%; First Layer Speed 60%;*
- *Layer: Primary Layer Height 0,3mm; Top/Bottom Solid Layers 5; Perimeter Shells 5;*
- *Temperature: Primary Extruder 235; Heated Bed 110;*
- *Infill: Internal Fill 0%*

A análise das estruturas foi feita a partir dos seguintes parâmetros: tempo de impressão, quantidade de material consumido, área ocupada, número total de elos e tamanho digital do arquivo. Os dados usados para a análise foram obtidos pelo software de fatiamento *Simplify 3D*, para assegurar as mesmas condições para os dados.

4. RESULTADOS

A Manufatura Aditiva é uma técnica aplicável em campos do design, engenharia e arquitetura para criar novos produtos e modelos. Seu uso será cada vez mais habitual, pois o processo produtivo pode possibilitar a descentralização da produção, permitindo que o usuário – antes reduzido a um papel passivo, com pouca ou nenhuma participação no processo de desenvolvimento dos produtos – seja alçado a um papel de co-designer, criando um ambiente colaborativo e compartilhado (Giordano al., 2016; Duarte et al, 2017).

Na presente pesquisa, a MA utilizada no desenvolvimento de estruturas têxteis gera não somente configurações visuais diferentes como também resultados táteis variados, aliando a questão estética com o aspecto funcional de cada estrutura e sua futura aplicação.

As geometrias selecionadas foram baseadas em formas geométricas básicas (quadrado, triângulo, hexágono), com pequenos arredondamentos. Com linhas ortogonais, a estrutura têxtil 1 (ET1) é baseada em um quadrado (Fig. 2A). A estrutura têxtil 2 (ET2) é uma derivação da estrutura 1, com uma barra a mais no meio entre os encaixes assim como cantos arredondados (Fig. 2B). A estrutura têxtil 3 (ET3) é baseada em um hexágono (Fig. 2C). A estrutura têxtil 4 (ET4) é uma combinação de um quadrado com os cantos arredondados pela vista superior e um triângulo pela vista lateral (Fig. 2D). A estrutura têxtil 5 (ET5) é baseada em um triângulo (Fig. 2E). A estrutura têxtil 6 (ET6) é uma derivação da estrutura 3, com cantos arredondados (Fig. 2F).

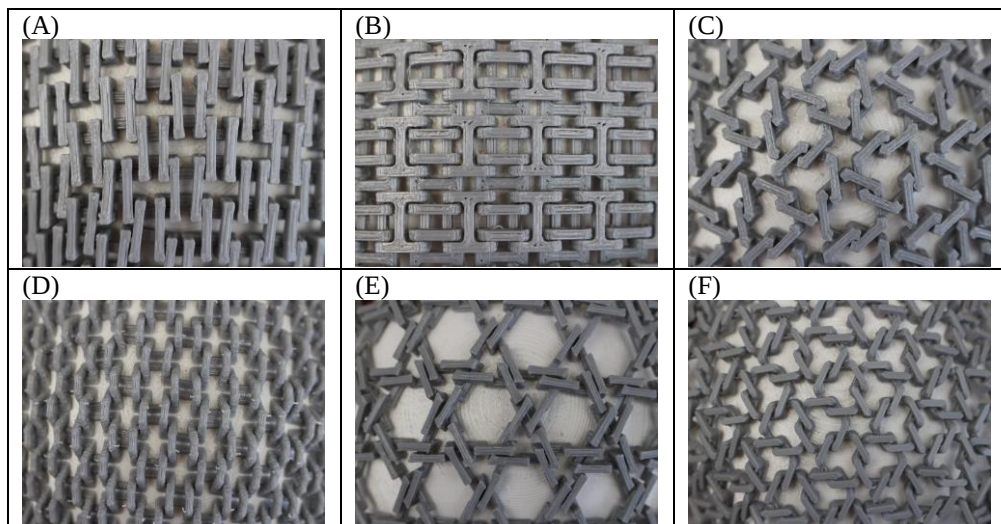


Figura 2. Estruturas Têxteis impressas: ET1 (A), ET2 (B), ET3 (C), ET4 (D), ET5 (E), ET6 (F) (Autores)

No processo de desenvolvimento de produtos é natural que o projetista tenha algumas suposições sobre os resultados e, com a experiências e habilidades individuais, seja capaz de observar quais soluções serão mais precisas para atender a uma determinada demanda. Entretanto, alguns requisitos técnicos devem ser adotados para que o processo seja otimizado. Na presente pesquisa, para fins comparativos, foram adotados os seguintes critérios e unidades:

- Fillet: presença ou ausência de cantos arredondados;
- T Elos: número total de elos em unidades;
- Peso T: peso total da estrutura têxtil em gramas;
- Área: área da estrutura têxtil em centímetros quadrados;
- T de Imp: tempo de impressão em minutos;
- P do Elo: peso individual do elo em gramas;
- Densidade: número de elos por centímetro quadrado;
- Cobertura: Quantidade de centímetros quadrados cobertos por grama consumida;
- V de Cob: velocidade de cobertura, tempo consumido para cobrir um centímetro quadrado em minutos;
- V de Imp: quantidade de gramas depositadas em um minuto;
- Pd Elo: peso digital em Kb para cada elo;
- Pd de Cob: Peso digital em Kb para cobrir um centímetro quadrado.

Para uma melhor análise, os dados foram organizados conforme a tabela 1.

Tabela 1. Resultados da impressão das Estruturas Têxteis (Autores)

Amostra	Fillet	T Elos (quantidade)	Peso T (g)	Área (cm ²)	T de Imp (min)	T Arq (Kb)	P do Elo (g)	Densidade (n/cm ²)	Cobertura (cm ² /g)	V de Cob (cm ² /min)	V de Imp (g/min)	Pd Elo (Kb/quantidade)	Pd de Cob (Kb/cm ²)
ET1	Não	512	122,43	597,8	401	1601	0,239	0,86	4,9	1,5	0,305	3,1	2,7
ET2	Sim	512	133,93	597,8	431	55501	0,262	0,86	4,5	1,4	0,311	108,4	92,8
ET3	Não	264	111,14	632,2	367	2363	0,421	0,42	5,7	1,7	0,303	9,0	3,7
ET4	Sim	685	89,62	605,2	319	508265	0,131	1,13	6,8	1,9	0,281	742,0	839,9
ET5	Não	200	71,3	562,6	245	1290	0,357	0,36	7,9	2,3	0,291	6,5	2,3
ET6	Sim	264	101,92	630,2	324	555976	0,386	0,42	6,2	1,9	0,315	2106,0	882,3

A relação do número de elos por centímetro quadrado é importante para poder estimar o nível de conformação de uma estrutura, pois quanto mais elos em um mesmo espaço maior deve ser a articulação daquela estrutura. É referência, ainda, da permeabilidade da estrutura pois quanto maior a densidade, menor será a permeabilidade. A partir dos dados apresentados na Tabela 1, percebe-se que as estruturas com cantos arredondados (ET2, ET4 e ET6) geram estruturas que se conformam melhor. Por outro lado, essas configurações levam a um aumento significativo no tamanho digital do arquivo 3D o que pode dificultar o fatiamento das geometrias.

Cobertura é fator importante para determinar o custo de material por centímetro quadrado, assumindo que quanto menor o seu valor menor será seu rendimento, portanto mais caro é essa estrutura. Assim, as estruturas ET1 e ET2 são as que apresentam menor cobertura e maior custo de matéria-prima. A velocidade de cobertura se diferencia da cobertura

por focar no tempo gasto com o processo, tornando-se base para calcular custos operacionais. Percebe-se que as estruturas ET4 e ET5 são as que apresentam maior valor, e consequente menor tempo de impressão.

A velocidade de impressão é praticamente uma constante, pois essa velocidade é determinada pelo bico injetor e o motor de extrusão.

Com relação ao arquivo digital, o peso digital influencia no processamento dos dados. Ao expandir a estrutura têxtil, o peso digital será o peso adicional digital ao arquivo que muitas vezes pode impossibilitar o trabalho do projetista, limitado pela configuração dos aparelhos eletrônicos. A relação de peso digital do arquivo por centímetro quadrado é importante para determinar a viabilidade de impressão de qualquer tamanho de estrutura têxtil, calculando se a estrutura não irá extrapolar os valores máximos de processamento. Nesse sentido, as estruturas ET4 e ET6 apresentam limitações para o processamento digital.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O embasamento teórico trouxe a visão da tendência crescente do uso da MA em diferentes áreas e em escalas industriais e domésticas. A característica fundamental da MA é a redução do número de etapas dos processos de produção e a economia de material independente do produto e da área. A utilização da tecnologia permite produzir o produto desejado em uma única etapa ou com a redução do número de etapas e, atende melhor a geometrias complexas. O desenvolvimento de novos produtos utilizando esta tecnologia deve-se atender requisitos técnicos, funcionais e estéticos para atingir o resultado desejado. Ao executar a etapa experimental da presente pesquisa, percebeu-se que fatores como velocidade de impressão, valor de cobertura e tamanho do arquivo digital podem ser requisitos de projeto que auxiliam o projetista na tomada de decisão no momento da escolha da estrutura que melhor atenda seu produto. Em termos gerais, quando o requisito do produto for usar a menor quantidade possível de material por centímetro quadrado a estrutura mais adequada é a ET5. Já quando a maleabilidade ou conformidade forem prioridades, a estrutura ET4 será a mais indicada. Também é possível selecionar as geometrias que de acordo com o seu processamento digital, neste caso as estruturas ET4 e ET6 dificilmente seriam processadas na maior parte dos computadores. Cabe ressaltar que nenhuma das estruturas se sobressai em todos os parâmetros; a escolha da estrutura têxtil ideal fica a cargo do objetivo usuário e da necessidade funcional do uso. Entretanto, percebe-se o campo de aplicação desta tecnologia que poderá modificar a produção têxtil e de vestuário em termos globais.

6. REFERÊNCIAS

- Anderson, C. 2012. A nova revolução industrial: Makers. Alta Books, 304p.
- Duarte, A. Y. S.; Sanches, R. A.; Dedini, F. G. 2017. Do Movimento Maker À Customização Em Massa: O Uso Das Tecnologias Da Informação E Comunicação Na Indústria Têxtil E De Confeção, p. 876-885. In: São Paulo: Blucher, 2017. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/cbgdp2017-092
- Braga, L. M., e Projeto de Graduação. "Orientador: Marcos Venicius S. Pereira." 2017.
- Deters, J. H. H., e Colling, J., 2017. "Estudo de Viabilidade da Implantação de uma Impressora 3D em uma Empresa de Tecnologia da Informação." *Revista Conexão* n. 5, 2017.
- Giordano, C. M., de Senzi Zancul, E., & Rodrigues, V. P. 2016. "Análise dos Custos da Produção por Manufatura Aditiva em Comparação a Métodos Convencionais." *Producao Online*, Vol. 16, n. 2, p. 499-523, 2016.
- Kuhn, R., & Reinilda de Fátima, B. M. "Panorama da Impressão 3D no Design de Moda the 3D Printing's Panorama in the Fashion Design."
- Iervolino, F. 2015. "A Tecnologia 3D como Recurso Didático para a Aprendizagem da Modelagem Plana do Vestuário."
- Santos, S. L. B. D. 2016. *Impressão 3D: perspectivas de adoção na Indústria Portuguesa*. Tese de Doutorado.
- Silva, L. M., de Oliveira, J. E., & Barja, P. R. "A Produção de Roupas Feitas a Partir da Tecnologia das Impressoras 3D com uso do Filamento TPE e com Inspiração nas Rendas Nordestinas."
- Souza, J. (2016). "Impacto da evolução da manufatura aditiva sobre o desenvolvimento de produto." 2016.
- Volpato, N., & Costa, C. A. 2013, May. "Competências e recursos da Rede de Manufatura Aditiva (RMA) no Brasil." *Itatiaia: Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânica, 7º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação*. 2013.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

TEXTILE STRUCTURES DEVELOPED BY ADDITIVE MANUFACTURING: COMPARATIVE ANALYSIS

Abstract. *The objective of the research is to evaluate the viability of manufacturing six prototypes of textile structures in a domestic scale using the Additive Manufacturing technology and to compare them in terms of: number of links, speed and time of printing, coverage and consumption of material and weight of digital files. When performing the experimental step of the present research, it was noticed that factors such as print speed, coverage value and digital file size may be design requirements that support the designer in decision making process when choosing the structure that best suits his/her product. It should be noted that none of the structures excel in all parameters; the choice of the ideal textile structure is in charge of the user objective and the functional necessity of the use. However, the field of application of this technology can clearly be seen that could modify the textile and garment production in global terms.*

Keywords: *Additive Manufacture, textile structure, Fashion*

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.