

[BRENO TENÓRIO RAMALHO DE ABREU]

Mestre em Design, Cultura e Sociedade pela Universidade de Brasília e professor nos cursos de Design de Moda, Design de Interiores e Arquitetura do Centro Universitário IESB.

E-mail: abreubreno@yahoo.com.br

BioStudio: tingimento e estamparia de tecidos orgânicos utilizando bactérias

BioStudio: dyeing and printing organic fabrics using bacteria

[88]

[resumo] O biodesign utiliza organismos vivos na composição de produtos e em serviços oferecidos à sociedade. Baseado nesta ideia, e diante da necessidade de trabalhos que promovam inovação em processos de fabricação têxtil na área de tingimento e design de superfícies, esta pesquisa interdisciplinar surge com o objetivo de relacionar o biodesign e o vestuário por meio de testes de coloração de tecidos orgânicos e da criação de estampas utilizando linhagens de actinobactérias. Para isso, foi empregada uma metodologia exploratória separada em laboratórios de cor e superfície. Depois de obtidas as colorações e estampas de actinobactérias, os tecidos foram submetidos à lavagem e passagem. Foram ainda exploradas, nesta pesquisa, as implicações estéticas que essa associação entre biologia e design pode criar.

[palavras-chave]

biodesign; tingimento; design de superfície; actinobactéria.

[abstract] Biodesign employs living organisms in the composition of products and services offered to society. Based on this idea, and faced with the need to promote innovation in manufacturing processes in textile dyeing and surface design, this interdisciplinary research appears with the objective to relate biodesign and fashion through the staining of natural fibers and creation of patterns using actinobacteria strains. For this purpose, it was done an exploratory laboratory methodology separated on laboratories of color and surface. After obtaining the dyes and patterns, tissues were washed and ironed. Was still tested in this research the aesthetic implications that the association between biology and design could create.

[keywords] biodesign; dyeing; surface design; actinobacteria.

Imaginar novas possibilidades de produção de tecidos, ou de interação entre usuário e vestuário, não é tarefa simples. Um dos caminhos que o design vem buscando para sair do lugar-comum tem sido interagir com áreas correlatas, como as artes e a arquitetura, e, em outros momentos, com áreas que muitas vezes não parecem ter uma relação tão próxima assim, como a matemática, a física e a biologia.

A associação da biologia com o design tem acontecido de forma mais frequente desde o início do século XXI, quando a busca por soluções inovadoras para produtos e serviços tem colocado em evidência áreas como a biomimética. O princípio da biomimética aplicada ao design está em observar a natureza e tentar fazer analogias para a concepção de produtos, com a finalidade de encontrar soluções possíveis, inesperadas e viáveis (LACERDA; SORANSO; FANGUEIRO, 2012).

O método biomimético, com a finalidade de se fazer analogias formais e funcionais da natureza, foi estabelecido em 1957, quando foi utilizado pela primeira vez por Otto H. Schmidt. Janine Benyus, estudiosa da área e fundadora do Biomimicry Institute, subdivide a biomimética em três áreas: a natureza como modelo, a natureza como medida, e a natureza como mentora.

Seguindo o pensamento de Benyus, seria possível repensar e desenvolver processos produtivos industriais se os analisássemos como ecossistemas, nos quais toda a sobra de matéria-prima, e os próprios produtos gerados, servissem de material para outros processos. Segundo Benyus (2012, p. 15), "os seres vivos mantêm um equilíbrio dinâmico, utilizando os recursos naturais sem desperdício".

A grande maioria dos projetos de biomimética relacionados ao design de moda é desenvolvida pela indústria têxtil de forma a conferir a tecidos acabamentos e construções especiais, que simulam processos realizados pela natureza, mas, quase sempre, esses produtos tecnológicos focam na forma e na função e não tratam necessariamente de produtos orgânicos.

É necessário rever esses modelos de produção, concentrando-se em processos que primem pela valorização da vida por meio de cadeias produtivas que priorizem a criação de produtos sem alterações de temperatura e pressão, economizando energia e, se possível, sem a utilização de insumos que podem ser danosos à natureza e aos seres vivos em geral.

Nesse novo contexto, surge o termo biodesign, utilizado para caracterizar projetos de design que fazem uso de organismos vivos como parte constituinte de produtos e serviços, ou que os empregam no processo produtivo, agregando a tecnologia de ponta da natureza à procura de soluções para a vida contemporânea (MYERS, 2012).

Uma das grandes vantagens do biodesign reside no fato de que depois de esgotada a vida útil do produto, este pode retornar integralmente à natureza pela decomposição de seus constituintes, compondo o ciclo natural dos nutrientes (LASKY, 2013).

A partir dessa visão, surge esta pesquisa experimental com o objetivo de tingir tecidos orgânicos da forma mais natural possível, utilizando-se bactérias pigmentadoras. Além disso, o presente trabalho pretende também incorporar isolados de bactérias em um processo de beneficiamento do vestuário, mais especificamente no desenvolvimento de estampas localizadas pelo método de estêncil, buscando inovação para a indústria têxtil e de moda, focando também na utilização pelo usuário final.

Mais especificamente, esta pesquisa procura selecionar linhagens de bactérias que produzam pigmentos naturais e que possam ser testados como base para tingimentos; testar tecidos orgânicos diferenciados para avaliar que tipo de fibra melhor incorpora a cor; produzir diversos padrões de estampa utilizando bactérias e avaliar sua legibilidade; enumerar e avaliar quais os critérios mais importantes e sob quais condições deve ser realizado o crescimento bacteriano para a criação de estampas e o tingimento de tecidos; verificar se é possível fazer a lavagem e a passagem dos tecidos após o tingimento ou a estampa; e avaliar desbotamentos ou alterações.

Além de minimizarem a produção de material de difícil descarte e procedência sintética relacionada ao tingimento e à estamparia, esta pesquisa pode ainda promover a criação de afeto com os produtos de moda pelo usuário, dissipando o conceito de descartável e reforçando conceitos praticados pela natureza como replicação, recombinação, regeneração, praticados pela nova tendência de consumo denominada *lowsumerism*, que prima pela diminuição do consumo ou pelas práticas de consumo consciente.

Os resultados desta pesquisa podem despertar tanto a atenção da sociedade como da comunidade científica e dos designers para a execução de novos experimentos e uma união mais próxima entre diversas áreas do conhecimento no tratamento da complexidade da vida. Assim, a interdisciplinaridade é também uma das razões de criação desta pesquisa.

Além de todas as razões supracitadas, o estudo do biodesign é praticamente inexistente no Brasil, principalmente quando direcionado para o vestuário. Dada a sua importância, é essencial para a universidade como geradora e debatedora de conhecimento, integrar-se a essa realidade e produzir literatura específica, mas, ao mesmo tempo ampla, dessa área, que pode ser ainda utilizada pelas engenharias, arquitetura, artes, entre outras.

A metodologia utilizada no desenvolvimento dos experimentos é flexível, uma vez que os resultados foram muito inesperados e se caracterizaram como um sistema complexo sob a influência de inúmeras variáveis. Para isso, foram utilizadas ferramentas tanto do design quanto da biologia para a realização dos experimentos em laboratório. Em alguns momentos, podemos caracterizar o método como experimental e, em outros, como descritivo, além da análise de dados qualitativa, com observações sistemáticas em laboratório, contando com registros fotográficos.

A seleção das bactérias para a realização dos experimentos se deu primeiramente por ser um microrganismo não patogênico, presente em praticamente todos os ambientes existentes na Terra (ubíquo), com tempo de crescimento relativamente curto (cinco dias), e especificamente a actinobactéria por ter uma boa relação com o ser humano, produzir pigmento e apresentar colônias com textura. As linhagens de actinobactérias aqui escolhidas são provenientes de isolados do solo da caatinga, um bioma rico e exclusivamente brasileiro, que se destaca como fonte promissora de microrganismos de importância biotecnológica.

Neste trabalho, a maioria dos microrganismos pertence ao gênero *Streptomyces*, que formam filamentos ramificados, são pouco exigentes nutricionalmente e produzem antibiótico.

Para os experimentos, seis linhagens foram selecionadas (G27, G28, G29, G78, G85 e JUA183), extraídas do solo da caatinga de Pernambuco. Depois que essas actinobactérias selecionadas foram recebidas da Coleção de Microrganismos do Laboratório de Antibióticos da UFPE (Universidade Federal de Pernambuco), as linhagens preservadas foram primeiramente inoculadas (colocadas para crescer) em pré-inóculos de 50 ml de meio ISP-3 líquido (20 g de farinha de aveia, 1 ml de solução de traço de sais e 1000 ml de água destilada), e cultivadas sob agitação de 180 rotações por minuto (rpm) por cinco dias, a 37 °C.

Esses seis isolados reativados em laboratório foram inoculados em placas de Petri sobre uma lâmina de acetato com estampa vazada, e colocados para crescer em contato com tecidos 100% algodão em dois diferentes métodos para os experimentos de estamparia.

Já para os experimentos de tingimento, os primeiros testes foram feitos utilizando-se discos de tecido cambraia (100% algodão) em contato com as actinobactérias selecionadas e crescidas em meio líquido e sólido, com ou sem agitação e com contato direto ou indireto com a bactéria.

Foram realizadas fotografias e microscopia óptica para avaliar a coloração do tecido e a interação entre as bactérias e as fibras do tecido. Além disso, algumas amostras dos tecidos tingidos e das estampas produzidas no tecido com a bactéria foram submetidas à secagem, lavagem e passagem, indicando se o experimento foi eficiente.

Os métodos e resultados serão mostrados em detalhes a seguir, sendo divididos em dois blocos principais: laboratório de cor, para os experimentos de tingimento, e laboratório de superfície, para os experimentos de estampa.

Moda, biologia e sustentabilidade

O interesse do homem na investigação da natureza e utilização de suas formas e funções já é antigo e remonta ao Renascimento, período marcado pelo pensamento humanista e de grande crescimento científico e artístico.

Os pintores nessa época não tinham apenas uma ocupação e mostravam uma tradição da interdisciplinaridade, desenvolvendo-se também em campos como a arquitetura e a medicina. Dessa comunhão de conhecimentos, surgiam projetos de produtos muitas vezes inspirados nas formas e nos mecanismos da natureza – Leonardo da Vinci (1452-1519) era um dos principais expoentes dessa frente investigativa.

A utilização da natureza como inspiração formal teve seu auge de expressão no movimento Art Nouveau do fim do século XIX, de essência estética orgânica possível graças à Revolução Industrial e ao barateamento e engrandecimento da produção de aço, gerando mobiliários e construções com formas naturais. Alguns dos grandes nomes desse período são Antoni Gaudí (1852-1926) e Gustav Klimt (1862-1918), cujo trabalho também tinha um desdobramento para a moda, que sofreu a influência desse período tornando-se fluida e excessivamente ornamentada.

Dando um salto na história e chegando à introdução de ferramentas computacionais na vida do homem, uma nova revolução aconteceu no mundo, deixando um pouco de lado a natureza e voltando a atenção para a manufatura. Nesse momento, os gastos com planejamento e preparação dos produtos tornaram-se menores do que os com produção. Ferramentas, manufaturas e distribuição viraram um custo pequeno para a empresa em detrimento dos custos com design (planejamento, preparação e codificação). O designer, como atuante nos primeiros processos de desenvolvimento do produto, tornou-se um facilitador de ideias.

Analisando-se a relação entre design e biologia nesse contexto, percebe-se que a interação entre as áreas tem buscado outros compromissos não tão científicos e acadêmicos, porém mais líricos.

A busca de soluções para problemas humanos por meio da observação da natureza foi classificada como método biomimético por Otto H. Schmidt. Um dos primeiros exemplos de biomimética bem-sucedidos foi a invenção do velcro pelo engenheiro G. de Mestral, em 1941, criando um tipo de fechamento utilizado na indústria têxtil inspirado nas sementes de carrapichos, mais especificamente, no modelo de dispersão das sementes por meio de pequenos ganchos que prendiam em pelos e outras fibras de agentes dispersores.

A maior parte das analogias realizadas na biomimética leva em consideração aspectos funcionais e estéticos, dando-se pela comparação de fenômenos ou entendimento de estruturas. Como exemplo de biomimética mais atual, temos o tecido Speedo Fastskin, da Speedo, que, por meio da observação da pele de tubarão, foi desenvolvido para diminuir o atrito do nadador com a água. Outro exemplo é o tecido c_change™, da Sholler, baseado na dispersão de sementes pela pinha e que permite a transpiração e o isolamento térmico de acordo com a umidade externa e a temperatura corporal.

Para obter um desempenho ecológico, designers têm procurado integrar sistemas naturais, aliando seu trabalho ao conhecimento e à experiência dos biólogos. Essa integração, obviamente, não trará soluções imediatas para os problemas e deverá ser uma pesquisa exploratória, com alguns trâmites éticos.

Talvez, afinal, não seja uma transformação tecnológica que nos levará a um futuro de criações biomiméticas, mas uma mudança de sentimentos, uma humildade que nos permita ficar atentos às lições da natureza (BENYUS, 2012).

Segundo Lacerda (2012), a biomimética desempenhará um papel fundamental no processo de uma nova revolução industrial, que terá como foco a forma como o produto é feito e suas contribuições para a sustentabilidade.

Pensando-se em uma relação mais próxima entre o organismo vivo e o produto, outra possibilidade é, em vez de utilizar o Ser como inspiração, utilizá-lo no processo de fabricação ou na constituição do próprio produto. Com isso, pesquisas usando sistemas vivos como ingrediente estão cada vez mais sendo realizadas nos Estados Unidos, onde grande parte de seu orçamento para pesquisa tem sido empregada em trabalhos com produtos geneticamente modificados. O design, obviamente, não perdeu essa oportunidade e já está atraindo vários pensadores a uma nova área de estudo denominada biodesign.

O momento mais expressivo e recente de publicação de estudos de biodesign foi uma grande exposição no Museum of Modern Art de Nova York (MoMA), no início de 2013, que reuniu os principais trabalhos da área de pesquisadores ao redor do mundo.

Segundo Paola Antonelli (MYERS, 2012, p. 7), "uma nova forma de design orgânico está rapidamente evoluindo, o biodesign, graças a um grande momento de experimentação entre design e biologia". Por ser um trabalho bastante contemporâneo, e em uma tentativa de entender corretamente do que se trata essa área de estudo, chegou-se a uma das melhores definições, feita pela própria Antonelli, na qual caracteriza o biodesign como o estudo da utilização de tecidos vivos, seja de culturas de tecidos ou plantas, materializando o sonho do design orgânico, em que, depois de projetado e criado, observa-se o produto crescer e se desenvolver, deixando ao encargo da natureza os cuidados com o restante.

Paola Antonelli foi precursora do biodesign e organizadora da exposição Design and the Elastic Mind, também exibida no MoMA, em 2008. Nessa mostra, estava exposto um dos mais controversos trabalhos da área, dos artistas Catts e Zurr, chamado Victimless Leather, uma pequena jaqueta constituída por um polímero biodegradável e células ósseas e de cartilagem de ratos. Esse casaco de tecido vivo permaneceu ativo durante cinco semanas em um bionutriente, com o auxílio de uma bomba peristáltica. Segundo os autores da jaqueta, "se nós consumidores nos cercarmos de objetos vivos e manufaturados, começaremos a ter uma atitude mais responsável em relação ao meio ambiente e frearemos o nosso consumismo destrutivo" (COGDELL, 2011).

As artes, por meio da bioarte, tem sido precursora, desde a última década, dessas pesquisas, como é o caso do projeto GFP Bunny de Eduardo Kac, de 2000, no qual coelhos geneticamente modificados expressavam uma proteína fluorescente, tornando-os luminescentes. O autor pontua que tem observado, desde o seu experimento até os dias de hoje, as mudanças do custo da biotecnologia e a aceitação dos produtos transgênicos como algo excelente, vendo ainda como uma mudança considerável a realização caseira de experiências genéticas, pois, quando no controle dos indivíduos, essas tecnologias adquirem um novo significado e uma nova cultura.

O objetivo de Eduardo Kac com esses experimentos é criar novas formas de vida, que não foram concebidas pela natureza. Para isso, conta com uma vasta equipe de biólogos, coordenadores e assistentes que, apesar de diferentes áreas, se comunicam entre si sem o menor problema.

Um projeto bastante prático e com uma metodologia caseira foi Biocouture, realizado pela pesquisadora Suzanne Lee, da Central Saint Martins College of Art and Design, em Londres. Sua pesquisa teve como produto final roupas produzidas com tecidos gerados por microrganismos em meios de cultura constituídos por chás diversos. Durante a fermentação do açúcar do chá, alguns microrganismos liberavam microfibras de celulose que se ligavam e formavam um sobrenadante flexível que, depois de seco, era passível de ser costurado e tingido. A fabricação e o descarte da maioria dos tecidos provocam problemas ambientais, mas essa nova tecnologia é uma promissora opção para o desenvolvimento sustentável, por ser um produto completamente orgânico e de fabricação natural e caseira.

Um último trabalho de associação do biodesign com o vestuário para ser citado como exemplo é o Biological Atelier, uma pesquisa conceitual desenvolvida por Amy

Congdon na Central Saint Martins College of Art and Design, em Londres. O projeto tem como intuito criar objetos em laboratório constituídos por células humanas ou animais, como possibilidade de personalização e renovação da moda. Esse projeto, que se passa em 2082, prevê que as roupas não serão fabricadas e sim cultivadas, feitas com células vivas em vez de fibras. O estudo conceitual já fornece muitas ideias para os projetos de moda, entrando em questões ainda não elaboradas, como a possibilidade de se criar peles de animais de forma ética e a produção de roupas e acessórios que poderiam carregar em sua constituição o DNA do próprio dono.

Esses exemplos são alguns dos mais importantes em relação ao biodesign e o vestuário encontrados mais recentemente e presentes tanto na exposição do MoMA de 2013 quanto no livro de Myers (2013). Outros vários experimentos ainda se encontram em realização e provavelmente, em breve, teremos vários resultados positivos dessa nova área de pesquisa interdisciplinar de grande inovação.

Os designers têm responsabilidade no que tange às suas práticas de trabalho e criação e à sua relação com a sociedade. O biodesign surge, assim, como experimentação e possibilidade de um fazer sustentável, com a inserção de organismos vivos nos produtos ou processos produtivos.

O vestuário, um sistema industrial complexo, não pode mais ser visto como linear, podendo ser reinterpretado pela biomimética como um sistema ecológico.

A moda repensada como sustentável, não só proporciona um novo fazer mais natural e ecológico, mas também formas de economia e política voltadas para um desenvolvimento local e social mais humano e um novo pensamento de consumo.

Analisando de forma simplória o ciclo de vida do produto de moda, e tendo em mente que o sistema moda é complexo e envolve muitas variáveis interconectadas, assim como diferentes atores, podemos evidenciar alguns processos, como extração de matéria-prima, fiação, produção do tecido ou malha, confecção, beneficiamento, venda, consumo, utilização e descarte. O presente trabalho pode ter um impacto mais considerável em três desses momentos: na produção da matéria-prima têxtil, no beneficiamento na estampa ou no tingimento e em uma possível modificação no consumo pelo cidadão.

O processamento têxtil normalmente é renegado pelos designers, que costumam só se preocupar com a escolha da matéria-prima pronta, de acordo com alguns requisitos. No entanto, avaliar esse processo pelo viés do biodesign pode levar a uma nova forma de pensar a produção de tecidos.

No que tange ao universo do tingimento dos tecidos, vários fatores são importantes, principalmente o uso da água, um dos preponderantes e mais sensíveis.

Segundo Silva (2001), o tingimento de tecidos é uma prática que existe há milhares de anos. A tecnologia atual consiste de várias etapas escolhidas de acordo com a natureza da fibra têxtil, as características estruturais, a classificação e a disponibilidade de corante, a fixação compatível com o destino do material a ser tingido e o preço, entre outros fatores.

Durante o tingimento, a fixação do corante, a proporção da quantidade de água e a necessidade de aquecimento são críticos nesse processo. Um ideal de sustentabilidade seria usar um corante que requeresse a menor quantidade de água, tivesse alta fixação, diminuindo, assim, a quantidade de químicos auxiliares no tingimento, e que não precisasse de aquecimento, minimizando a energia gasta.

Outros processos complicados na coloração são a reutilização e o descarte de banhos de corantes. Alguns procedimentos permitem que o corante seja reutilizado, dependendo do tipo de fibra na qual foi usado e do tipo de corante, porém, o retorno desses banhos à natureza depende das reações químicas e físicas que oneram a técnica.

O ideal seria produzir um corante que pudesse ser reutilizado e, quando esgotado, fosse descartado na natureza sem causar danos. No caso de um corante originado a

partir de bactérias presentes no solo em comunhão com plantas, o inóculo/coloração de um tecido serviria como início/inóculo de outra remessa de tecido, e, quando finalizada a coloração, o material descartado poderia servir como fertilizante para plantações, não havendo desperdícios nem descartes indevidos.

A coloração natural é um desafio por causa da dificuldade da reprodutibilidade da cor, da produção em larga escala e da estabilidade da cor, mas, segundo Fletcher (2011), esse tipo de coloração não pretende atender os padrões que a indústria impõe.

Além disso, segundo Silva (2001), muitos países desenvolvidos já usam corantes naturais na indústria de cosméticos e alimentícia em virtude da comprovação da alta toxicidade dos corantes sintéticos, com efeito acumulativo no organismo, provocando várias doenças, ao passo que os corantes naturais se decompõem facilmente e têm baixos efeitos colaterais.

Partindo-se para a estamparia, temos os mesmos fatores e problemas envolvidos com o tingimento, com alguns agravantes. Mas por que se pensar em uma estamparia sustentável? Muito simples: além de evitar a utilização de corantes sintéticos, são empregados menos agentes químicos para a fixação, há pouco consumo de água e energia, gera-se menos efluentes tóxicos e, uma vez que estampamos um tecido orgânico com corante sintético, seja na estamparia corrida, seja na localizada, nunca mais conseguiremos separar essas duas matérias, tornando tecidos orgânicos também poluentes.

A estamparia é um processo de tingimento localizado, originando formas figurativas ou abstratas. Durante esse processo, são feitas mais fixações do corante e, conseqüentemente, há maior gasto com água e com químicos para a fixação da estampa. São realizadas também algumas lavagens do tecido estampado para evitar o desbotamento e a formação de manchas pelo usuário.

Um fator problemático na estamparia é a definição/resolução do desenho, bastante controlado na estamparia tradicional, tornando-o o mais claro e fidedigno possível.

Em processos de estamparia sustentável, com emprego de corantes naturais, ou como neste trabalho, com utilização de bactérias, esse processo de estamparia é menos controlável por causa da variabilidade de concentração dos corantes e da randomicidade do crescimento bacteriano, mesmo sob condições controladas.

Entendendo melhor a bactéria utilizada nos experimentos, elas pertencem ao filo das actinobactérias, compreendendo um grande número de microrganismos, sendo citadas mais de 30 famílias taxonômicas. As espécies têm morfologia bastante variável, desde a forma bacilar até a filamentosa. São predominantemente aeróbias, presentes comumente em solos e matéria vegetal. São, em sua maioria, inofensivas (por isso a sua escolha para utilização em roupas) e apresentam importância econômica na produção de antibióticos e diversas enzimas, entre elas, as celulolíticas (MADIGAN et al., 2010).

Uma característica importante das actinobactérias é que elas criam esporos quando em situações extremas, conferindo-lhe proteção, e é justamente nessa fase que produzem pigmentos e antibióticos. A cor resultante dessa produção de pigmento pelo microrganismo pode ser vista na apresentação dos resultados desta pesquisa.

Já para a confecção das estampas nesta pesquisa foi selecionada uma técnica bastante tradicional que deu origem à estamparia de quadro, chamada estêncil. Esse método consiste na aplicação de desenho figurativo ou abstrato com tinta (no presente experimento, meio de cultura com actinobactérias) sobre uma matriz vazada (papel ou acetato), produzindo imagens sobre superfícies de cimento, mobiliário e têxteis (SABINO, 2007).

Materiais e métodos do Laboratório de Cor

Os estudos foram iniciados pela análise da interação entre actinobactérias e tecidos. Como as bactérias são filamentosas, acreditava-se que poderiam se associar ao tecido, dotando-os de algumas propriedades, como cor e resistência ao crescimento de outras bactérias.

Esses primeiros testes foram feitos utilizando-se discos de tecido cambraia (100% algodão) em contato com as actinobactérias selecionadas e crescidas em meios líquido e sólido, com ou sem agitação e com contato direto ou indireto com o tecido.

Foram realizadas fotografias e microscopia óptica para avaliar a coloração do tecido e a interação entre as bactérias e as fibras. Além disso, algumas amostras foram lavadas para testar a fixação do corante.

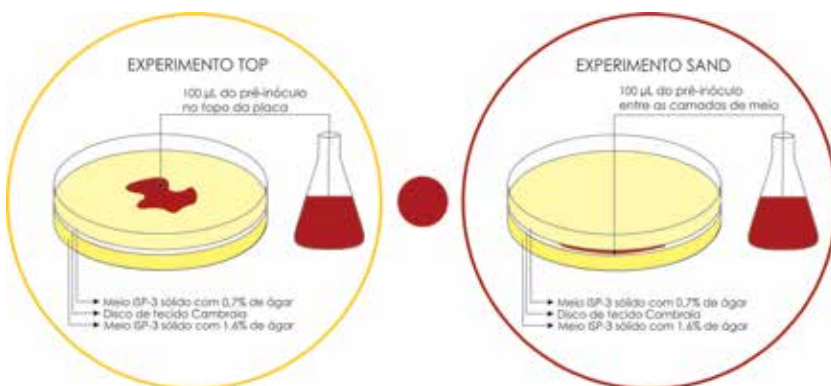
Tingimento em meio sólido em placa de Petri

Os seis isolados de actinobactéria selecionados, após realizado o pré-inóculo como mencionado anteriormente, foram inoculados com o auxílio da alça de Drigalski em placas de Petri com 90 mm de diâmetro, preparadas de duas maneiras diferenciadas que, aqui neste subtópico, foram separadas em experimento TOP e experimento SAND. Essas nomenclaturas foram dadas em virtude do local de inoculação do microrganismo: no topo do meio de cultura (TOP) e entre as camadas do meio de cultura, como uma espécie de sanduíche (SAND).

Ambos apresentavam 20 ml de meio de cultura ISP-3 com 1,6% de ágar, um disco de tecido (cambraia) com 80 mm de diâmetro e uma segunda camada de meio ISP-3 com 0,7% de ágar. A diferença entre os dois experimentos foi o local no qual foi depositada a amostra de 100 µl (microlitros) de bactéria coletada do pré-inóculo. No experimento TOP, as bactérias foram inoculadas sobre a segunda camada do meio, no topo da placa; já no experimento SAND, o inóculo foi realizado sob o tecido, entre as duas camadas do meio. A ilustração das placas dos dois experimentos pode ser vista a seguir, na figura 1. As placas foram crescidas durante cinco dias em estufa a 37 °C.

[95]

Figura 1: Demonstração dos inóculos nos experimentos TOP e SAND

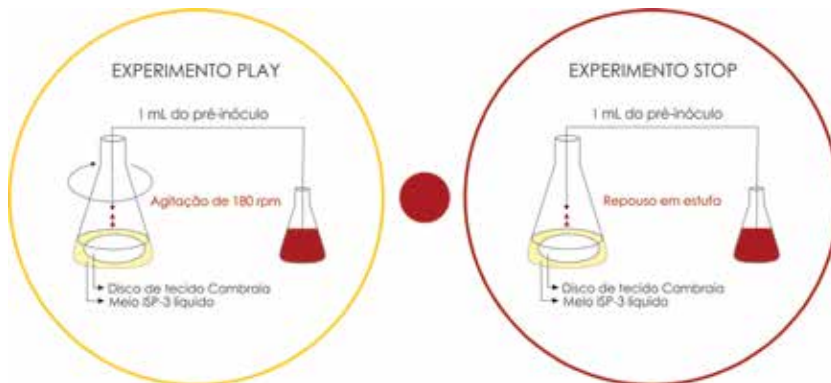


Tingimento em meio líquido em erlenmeyer

Um segundo teste de coloração e a interação entre as actinobactérias e o tecido foram realizados em meio de cultura ISP-3 líquido em erlenmeyers de 500 ml.

Nesse experimento, foram colocados dentro do frasco 100 ml de meio de cultura, 1 ml do pré-inóculo com as bactérias e um disco de cambraia com 90 mm de diâmetro, que ficou em contato contínuo com as bactérias e o meio de cultura durante cinco dias. Esse experimento foi realizado sob constante movimentação em mesa agitadora a 180 rpm (experimento PLAY) e estático em estufa (experimento STOP), ambos a 37 °C (Figura 2).

Figura 2: Inóculos nos experimentos PLAY e STOP



Tingimento em meio líquido em placa de Petri

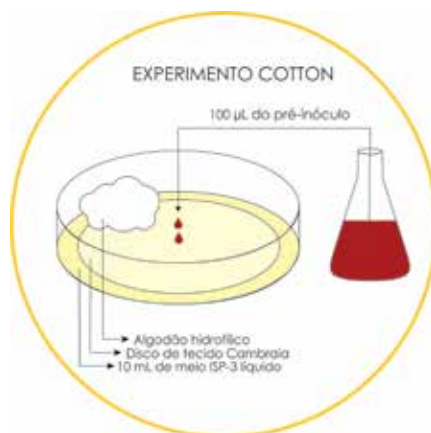
Um último teste foi realizado em placas de Petri, mas com meio líquido em seu interior. Nas placas foi colocado um disco de cambrala com 80 mm de diâmetro umedecido com 10 ml de meio ISP-3 líquido e inoculado com 100 µl do pré-inóculo.

Uma grande preocupação com esse experimento era que o meio viesse a secar e as bactérias cessassem seu crescimento. Por isso, foi adicionado um pedaço de algodão hidrofílico estéril a cada uma das placas, aumentando a umidade e a disponibilidade de nutrientes. Além disso, 1 ml de meio foi adicionado às placas diariamente, durante os cinco dias de crescimento em estufa, a 37 °C.

[96]

A esse experimento demos o nome de COTTON (Figura 3).

Figura 3: Inóculo do experimento COTTON



Tingimento em diferentes tipos de tecido

Após a obtenção de um bom resultado com meio líquido em placas de Petri no experimento COTTON, como será demonstrado a seguir, fez-se com que o mesmo experimento fosse repetido, mas dessa vez sem o chumaço de algodão e com diferentes tipos de tecidos de fibra natural (tricoline, laise, linho, atoalhado, seda, guipure e georgette de seda), e foram utilizados apenas dois isolados que tiveram o melhor crescimento e coloração, G27 e G85.

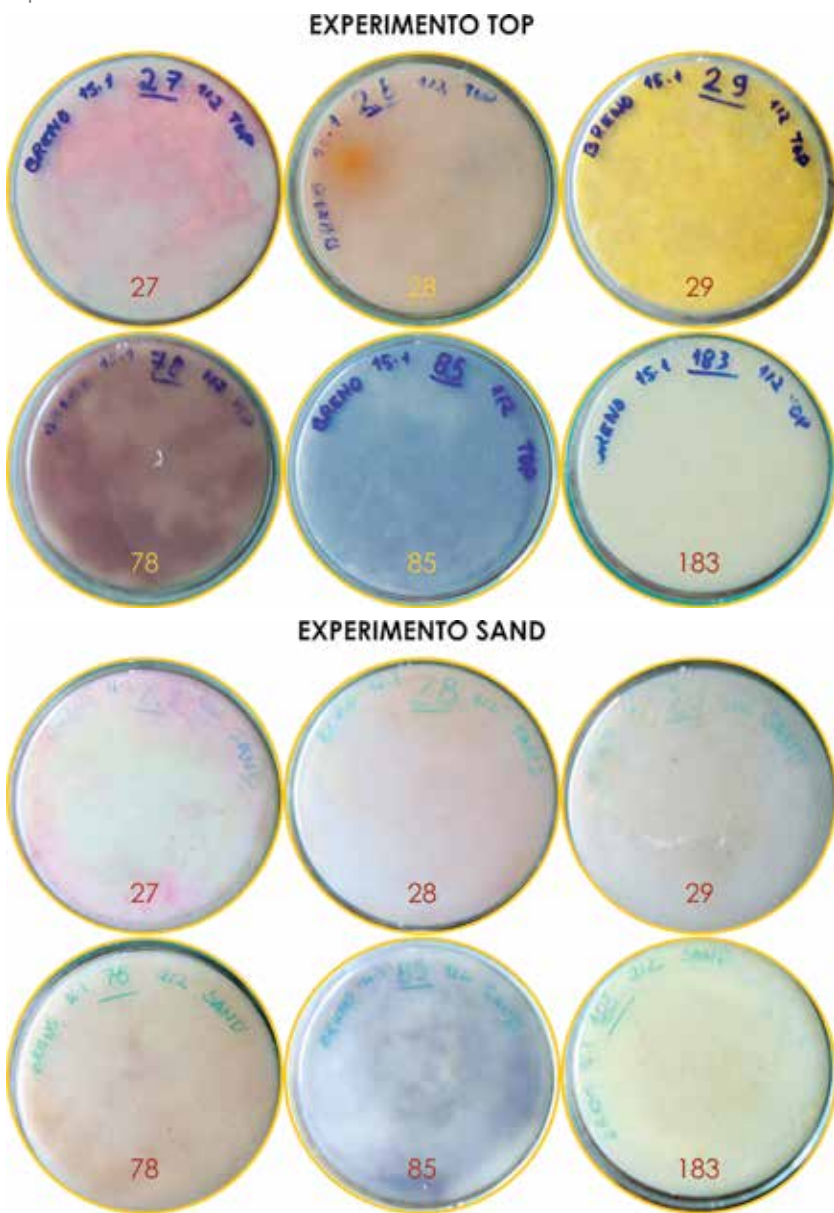
A quantidade inicial do meio de cultura líquido ISP-3 permaneceu a mesma, 10 ml, e os tecidos também foram cortados em discos com 80 mm de diâmetro. Um ml de meio somente foi adicionado às placas duas vezes, durante os cinco dias de crescimento. As amostras foram crescidas em estufa a 37 °C e todos os tecidos obtidos foram submetidos a microscopia óptica.

Resultados e discussão do Laboratório de Cor

Entre os experimentos realizados em placas de Petri utilizando meio de cultura sólido, o que apresentou melhor resultado de crescimento e coloração foi o TOP, como visto na figura 4, a seguir.

O período de crescimento de cinco dias se mostrou ideal para o processo de pigmentação, assim como a temperatura de crescimento de 37 °C. No experimento TOP, além de obtida a coloração do tecido, os isolados produziram também a coloração do meio de cultura. Dos isolados, o único que não obteve uma coloração diferenciada e considerável foi o G183.

Figura 4: Reverso das placas dos isolados mostrando a pigmentação do meio e do tecido no experimento TOP e o pequeno crescimento das bactérias e a pouca pigmentação no experimento SAND



As colorações obtidas foram as seguintes: G27 vinho, G28 laranja, G29 amarelo, G78 roxo, G85 cinza esverdeado e G183 bege.

Após o processo de secagem, pôde ser visto também que, quando utilizado o meio sólido, as bactérias pigmentam o tecido de forma moderada.

Depois de secas, as amostras do experimento TOP que obtiveram melhor resultado não foram submetidas a nenhum processo de fixação da coloração. Esses tecidos foram cortados ao meio e uma metade submetida a lavagem durante uma hora em erlenmeyer contendo 100 ml de água destilada e 5 ml de detergente neutro, sob agitação de 100 rpm. As amostras lavadas foram enxaguadas em água destilada e secadas à sombra.

Ocorreu grande perda de coloração do tecido para a água, no entanto, os tecidos continuaram coloridos, mas a cor ficou mais clara. Dessa forma, novas possibilidades de fixação devem ser investigadas.

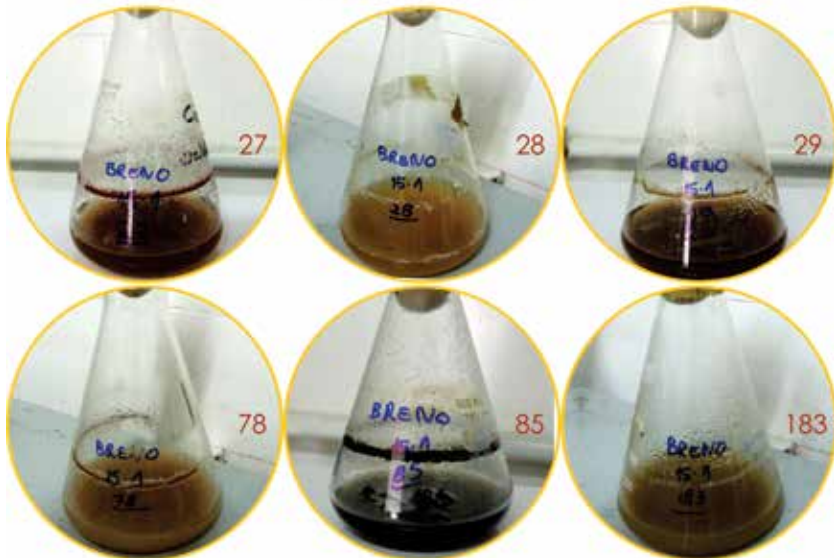
Já os tecidos que foram colocados em erlenmeyers e juntamente com as bactérias, com e sem agitação, caracterizando os experimentos PLAY e STOP, tiveram resultados bastante distintos entre si e dos experimentos realizados em meio sólido.

Dos que cresceram sob agitação (experimento PLAY), vemos que o meio de cultura ficou muito turvo, entre os tons de amarelo e marrom, além de formarem anéis de depósito de material acima da altura do meio de cultura e aglomerados sobre o tecido.

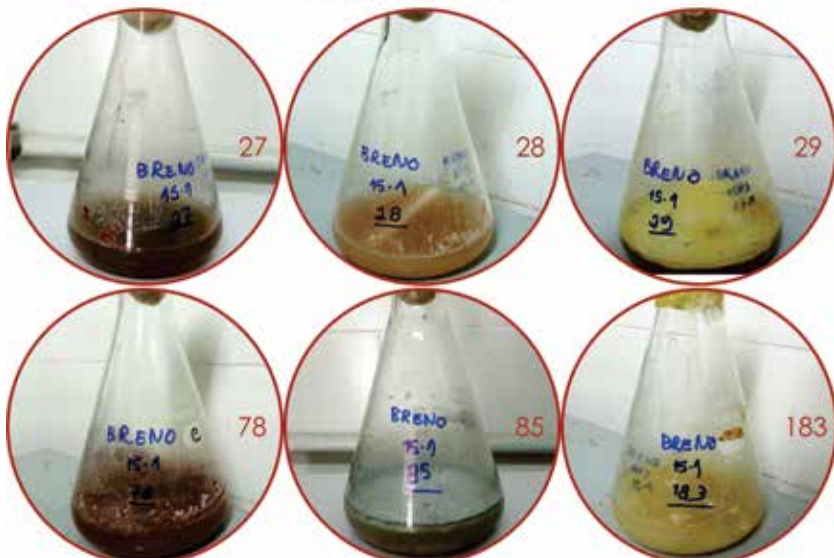
O experimento foi, então, o melhor teste com resultados para coloração do tecido cambraia entre os experimentos de tingimento, no qual se observou uma forte cor do pigmento, como pode ser visto na figura 5. Os isolados G27, G29 e G85 apresentaram uma coloração bem mais escura, de alta concentração.

Figura 5: No resultado do experimento PLAY, percebe-se que os isolados G27, G29 e G85 são os mais corados. Já o resultado do experimento STOP evidencia a formação de uma camada sobrenadante nos isolados G29 e G85

EXPERIMENTO PLAY



EXPERIMENTO STOP



Por outro lado, no experimento STOP, no qual as bactérias foram crescidas em meio líquido, mas em repouso e na estufa a 37 °C, podemos observar outro fenômeno, a formação de uma camada na superfície do meio de cultura de característica predominantemente esbranquiçada e com leve brilho, formada pelos esporos bacterianos e que pode ser vista mais evidentemente nos isolados G29 e G85, na figura 5.

Apesar de aparentemente ter tido um bom crescimento, o tingimento não aconteceu de maneira eficiente no experimento STOP, provavelmente por causa da ausência de agitação, que melhora o contato entre o pigmento e o tecido.

Comparando os experimentos PLAY e STOP, vemos o quanto eles são distintos somente em virtude da ausência de agitação e consequente aeração. É possível inferir então que, para a mais eficiente produção de pigmento, é importante um bom fornecimento de oxigênio.

O último teste de tingimento feito em placas de Petri, mas com meio líquido, que caracterizou o experimento COTTON, obteve um resultado mediano, pois não apresentou uma grande produção de pigmento. Além disso, verificou-se que precisava de ajustes, pois a quantidade do meio de cultura reposta na placa foi muito grande. Já a presença do algodão, que deveria auxiliar na preservação da umidade, atrapalhou o tingimento, pois acabava retirando os pigmentos do meio por capilaridade (Figura 6).

[99]

Figura 6: Resultado do experimento COTTON, que não obteve coloração tão forte e apresentou colônias isoladas



Os resultados dos experimentos foram comparados utilizando-se, para isso, o auxílio de um contador de células com lupa de aumento aproximado de cinco vezes. Na figura 7, mostra-se o quanto a coloração dos isolados G27 e G29 sobressai nas cores vinho e amarelo em relação aos outros isolados. Podemos ver também que a quantidade de colônias formadas foi muito maior no experimento TOP do que nos experimentos SAND e COTTON. Vê-se que a coloração é muito maior no experimento TOP do que no restante.

Figura 7: Comparação dos experimentos TOP, SAND e COTTON feita com o auxílio de um contador de células



Um resumo dos resultados encontrados pode ser visto na tabela 1.

[100]

Tabela 1: Resumo dos resultados obtidos nos experimentos TOP, SAND, PLAY, STOP e COTTON

EXPERIMENTO	TINGIMENTO	OBSERVAÇÃO
TOP	Moderado	Pigmentou também o meio de cultura.
SAND	Fraco	Posição do inóculo dificultou crescimento.
PLAY	Forte	Meio de cultura turvo com formação de anéis de depósito de material.
STOP	Fraco	Formação de camada de esporos no topo.
COTTON	Moderado	Não necessita da presença do algodão.

Por último, o experimento COTTON foi redefinido e refeito, mas utilizando-se sete tipos diferentes de tecidos de fibras naturais e apenas dois isolados que apresentaram rápido crescimento e boa pigmentação, o G27 e o G85.

Os ajustes no experimento – retirada do algodão e diminuição da quantidade do meio repostas ao longo dos dias – deram excelente resultado, permitindo um crescimento mais rápido do microrganismo e maior pigmentação.

Dos tecidos 100% algodão (tricoline, atalhado, guipure e laise), 100% seda (georgette de seda e seda pura) e 100% linho (linho puro), o que apresentou melhor crescimento e pigmentação do tecido foi o linho, como mostrado na figura 8.

Figura 8: Comparação dos diferentes tecidos crescidos em meio líquido em placa de Petri com o isolado G27



Entre os tecidos de algodão, a tricoline, que apresenta menos textura e fibras mais finas e organizadas, demonstrou uma grande produção de esporos e boa pigmentação. Já os tecidos de seda tiveram um tingimento superficial, em tom pastel, suave e delicado. [101]

No mesmo experimento, mas utilizando o isolado G85, temos um resultado semelhante em termos de tingimento, mas diferente em relação ao crescimento. O linho também foi o que teve melhor coloração ao final do processo de secagem.

O isolado G85 apresentou um excelente crescimento em todos os tecidos, transformando inclusive as texturas dos tecidos com relevo, como a laise, a guipure e o atoalhado (Figura 9). Um ponto negativo desse isolado (G85) é que seu aspecto esverdeado assemelha-se aos fungos que comumente chamamos de bolor, não apresentando um aspecto agradável, mas com texturas diversificadas e bastante interessantes para superfícies.

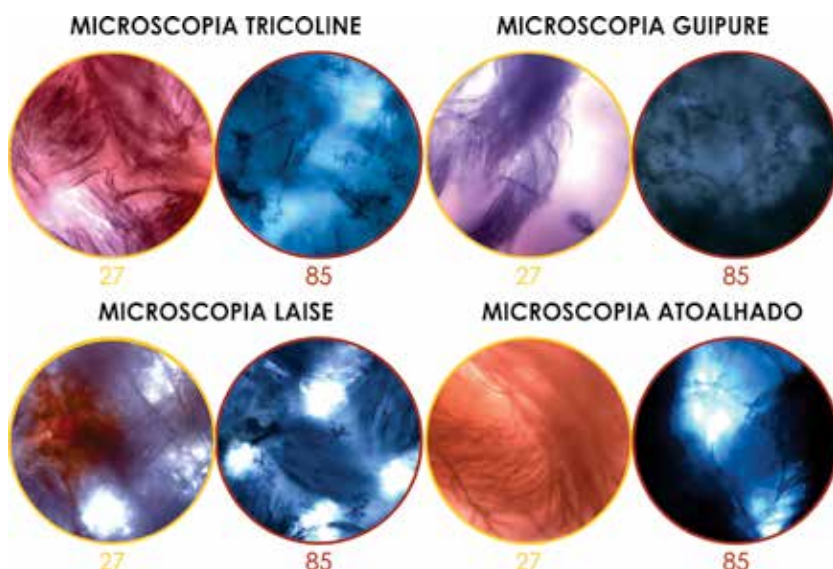
Figura 9: Comparação dos diferentes tecidos crescidos em meio líquido em placa de Petri com o isolado G85



Algumas dessas amostras foram analisadas em microscopia óptica com um aumento de 200x e fotografadas para analisar a morfologia da bactéria. No entanto, essa visualização ficou um pouco prejudicada nos tecidos que apresentavam fibra muito espessa, como o linho.

Já nos outros tecidos de algodão (Figura 10), com exceção do atalhado, que é muito texturizado, fica mais fácil ver as actinobactérias, principalmente no isolado G85, caracterizado por pequenos grupos escuros com várias espirais unidas. Pode-se observar também que a localização desses isolados fica entre os fios, sendo essa uma possível região de fixação do microrganismo. Evidencia-se mais claramente a coloração avermelhada do corante do isolado G27.

Figura 10: Microscopia óptica dos isolados G27 e G85 com aumento de 200x nos tecidos de algodão



[102]

Materiais e métodos do Laboratório de Superfície

Para a parte experimental de desenvolvimento de estampas ser iniciada, as linhas preservadas foram primeiramente inoculadas em pré-inóculos e cultivadas sob agitação por cinco dias a 37 °C.

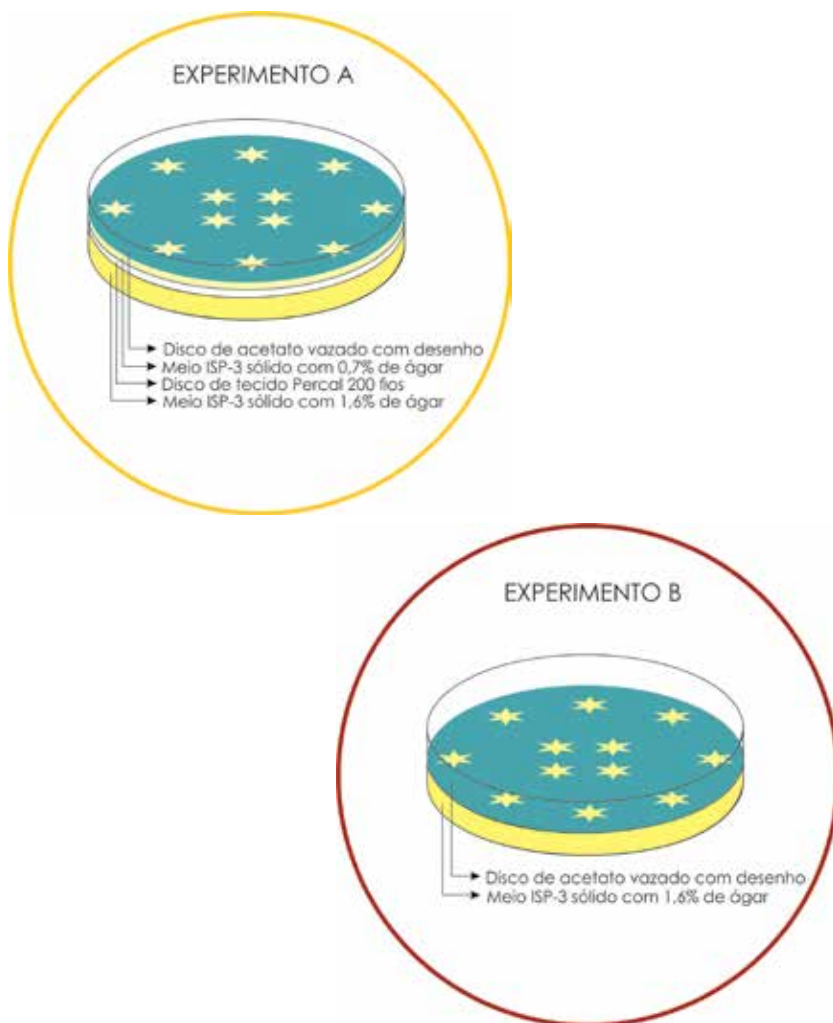
Após esse período, dois experimentos foram realizados com inoculação desses pré-inóculos em placas de Petri de 150 mm:

A) No experimento A, as placas apresentavam quatro camadas consecutivas de materiais. A primeira correspondia a 40 ml de meio ISP-3 sólido com 1,6% de ágar; a segunda era um círculo com 140 mm de diâmetro do tecido percal 200 fios (100% algodão); a terceira era formada por 5 ml de meio ISP-3 sólido com 0,7% de ágar; e a última era um acetato estéril com 140 mm de diâmetro, vazado com formatos de quadrados e estrelas, recortado com o auxílio de um furador de papel.

B) Já no experimento B, as placas apresentavam apenas duas camadas, sendo a primeira com 40 ml de meio ISP-3 sólido com 1,6% de ágar e a segunda com um acetato estéril com 140 mm de diâmetro, vazado com formatos de quadrados e estrelas, recortado com o auxílio de um furador de papel.

As camadas das placas dos experimentos A e B estão demonstradas na figura 11.

Figura 11: Camadas das placas dos experimentos A e B



[103]

Após a preparação das placas, 1 ml de cada uma das seis linhagens foi inoculado com o auxílio de uma alça de Drigalski sobre o acetato. O ensaio foi realizado em duplicata. Essas placas foram cultivadas durante sete dias a 37 °C.

Quando crescidas, as amostras do experimento A passaram por um processo de secagem, no qual foi retirado o acetato, descartado o meio de cultura e o tecido percal com a estampa/colônia de actinobactéria foi submetido à secagem durante 24 horas entre duas camadas de tecido de algodão, em estufa a 40 °C.

Já as amostras do experimento B tiveram o acetato retirado e o meio de cultura com a estampa/colônia de actinobactéria foi secado em contato com um círculo com 140 mm de diâmetro do tecido percal 200 fios (100% algodão) embebido em água destilada, entre duas camadas externas de tecido de algodão em estufa a 40 °C, durante 24 horas.

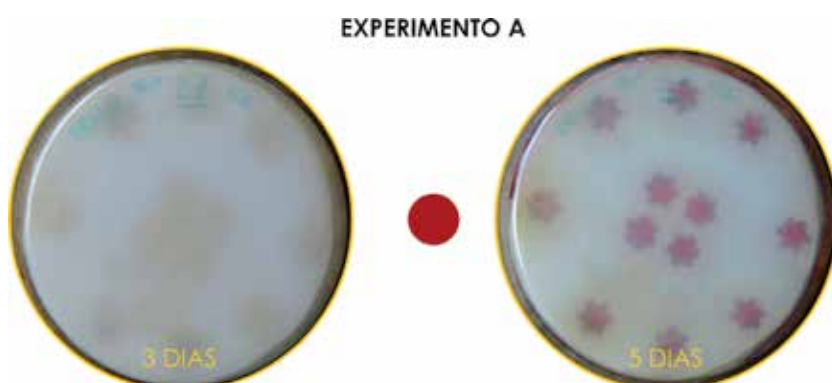
Depois de secas, as amostras do experimento A, que tiveram melhor resultado, foram cortadas ao meio e uma metade submetida à lavagem durante uma hora em erlenmeyer contendo 100 ml de água destilada e 5 ml de detergente neutro, sob agitação de 100 rpm. As amostras lavadas foram enxaguadas em água destilada e secadas à sombra. Depois de secas, as estampas foram passadas com o auxílio de ferro de passar doméstico sem vapor a 200 °C.

Por último, o experimento A foi repetido com as duas linhagens que deram melhores resultados (27 e 85), originando o experimento C. Dessa vez, utilizou-se o mesmo método do experimento A, mas com placas de Petri com 90 mm de diâmetro, círculos de cambráia (100% algodão) com 80 mm de diâmetro, discos de decupagem de acetato com desenhos figurativos e estampas de maior resolução e detalhamento com 80 mm de diâmetro e as amostras foram crescidas durante cinco dias.

Resultados e discussão do Laboratório de Superfície

Após a inoculação das bactérias, o crescimento foi observado em três, cinco e sete dias. Pode-se verificar que ocorreu um grande crescimento do terceiro para o quinto dia (Figura 12), no entanto, após o quinto dia, o crescimento da estampa se estabiliza, não ocorrendo consideráveis mudanças na cor e na morfologia da estampa/colônia, sendo assim necessários apenas cinco dias para o crescimento da bactéria nas condições determinadas de temperatura a 37 °C.

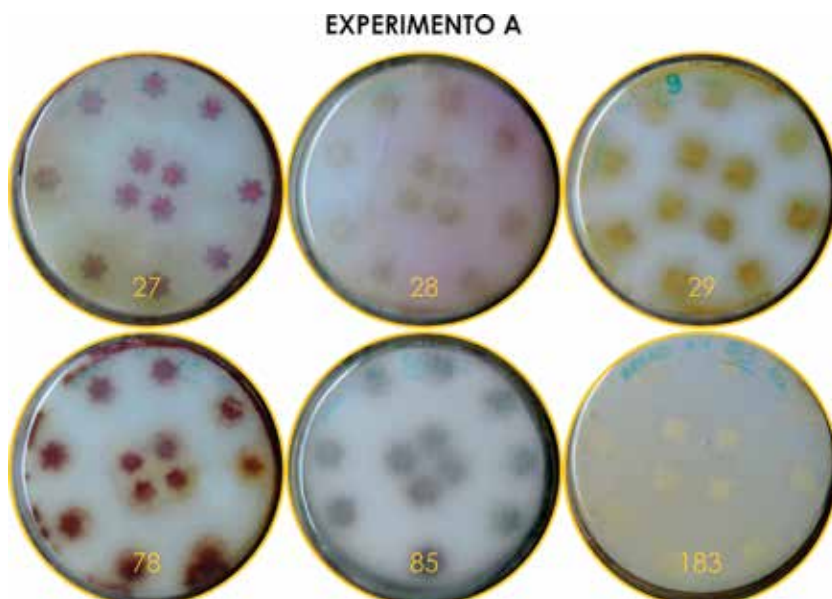
Figura 12: Comparação do tempo de crescimento e morfologia da estampa de três para cinco dias da linhagem G27 no experimento A



[104]

Comparando-se o crescimento das bactérias no experimento A e B, verificamos que não existe diferença na estampa em termos de morfologia e coloração, se o material é inoculado juntamente com o tecido ou não, provavelmente pela permeabilidade do tecido e pela camada fina do meio de cultura depositada sobre o tecido, como pode ser visualizado na figura 13. A coloração apenas aparenta ser mais forte no experimento B por causa da ausência de tecido, que torna a fotografia mais opaca.

Figura 13: Comparação da morfologia da estampa/colônia das seis linhagens com sete dias de crescimento nos experimentos A e B



No experimento A, verificamos que as linhagens G27 e G85 apresentaram melhor desenvolvimento das estampas, assim como melhor crescimento e coloração mais sólida, como pode ser analisado em detalhe na figura 14.

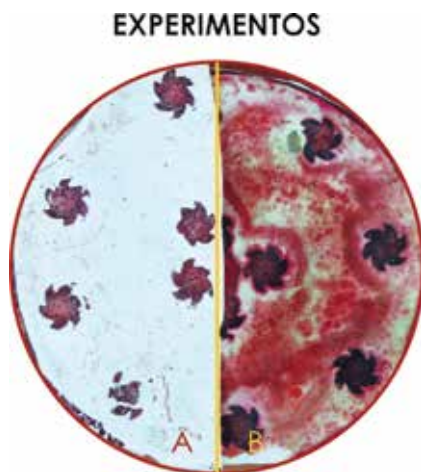
Figura 14: Detalhe da estampa/colônia produzida pela linhagem G27 no experimento A



O maior sucesso foi obtido com o experimento A, principalmente em virtude do processo de secagem. É possível retirar o tecido do experimento A com apenas uma fina camada de meio de cultura, já o experimento B precisa ser secado com todo o volume do meio de cultura, o que deixa o tecido cheio de impurezas e muito denso. Após a secagem, no experimento A a estampa adere ao tecido, enquanto no experimento B a estampa fica ainda aderida ao meio de cultura e é perdida em uma camada sobreposta ao tecido, o que pode ser visto na linhagem G27 da figura 15.

[100]

Figura 15: Comparação dos resultados dos experimentos A e B da linhagem G27, mostrando a limpeza e a melhor resolução obtidas no experimento A e a grande quantidade de impurezas do meio de cultura no experimento B



Durante o processo de lavagem dos tecidos e estampas resultantes do experimento A, certa quantidade de pigmento proveniente da estampa foi liberada na água, o que não prejudicou o desenho, que permaneceu no mesmo tom, retirando apenas as impurezas do tecido. Nesse processo, a estampa se torna frágil, no entanto, não é danificada, como se vê na figura 16, que compara os tecidos antes e depois da lavagem da estampa produzida com a linhagem G27.

Figura 16: Estampa obtida no experimento A com a linhagem G27 antes e depois da lavagem com sabão neutro



Após a secagem à sombra, o tecido foi passado com ferro doméstico e a estampa também não sofreu qualquer alteração tanto quando passado o ferro sobre o tecido como no avesso, como visualizado na estampa da linhagem G27 da figura 17.

Figura 17: Estampa obtida no experimento A com a linhagem G27 antes e depois da passagem com ferro doméstico

[106]



No experimento C, repetidas as condições ideais obtidas com o experimento A com as linhagens G27 e G85, visualiza-se que é possível fazer as estampas utilizando-se um acetado cortado com figuras mais complexas, obtendo-se diferentes desenhos ainda com bons resultados, conforme pode ser observado na figura 18, que apresenta a placa inoculada, a estampa obtida e o tecido pronto para secagem.

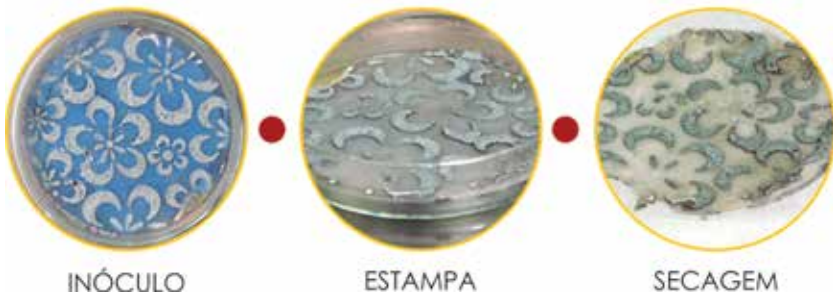
A mudança de tecido não trouxe nenhuma alteração significativa ao experimento, provavelmente por se tratar ainda assim de um tecido 100% algodão.

Figura 18: Inóculo, estampa e secagem das linhagens G27 e G85 realizadas durante o experimento C, no qual foram realizadas estampas com maior quantidade de detalhes

EXPERIMENTO C - LINHAGEM G27



EXPERIMENTO C - LINHAGEM G85



Considerações finais

Resumidamente, a melhor forma de efetuar a coloração de tecidos orgânicos com isolados de actinobactéria se dá por meio de crescimento líquido sob agitação, ocorrendo, dessa forma, maior produção e concentração de corante, além do aumento do contato do pigmento com o tecido.

Em relação à cor dos pigmentos produzidos, aqueles que apresentaram maior saturação foram os isolados G27, G29 e G85.

O processo de lavagem mostrou que, apesar de os tecidos permitirem a coloração, é necessário um processo seguinte de fixação da cor, uma vez que todos tingiram a água durante a lavagem. Serão analisados futuramente possíveis processos naturais de estabilização da cor.

Analisando-se uma diversidade maior de amostras de tecidos, aqueles que melhor pigmentam são os que são constituídos de linho, seguidos pelos de algodão e de seda.

Já em relação à estamperia, o processo ideal de secagem com menor número de impurezas se dá quando o inóculo é realizado já utilizando o tecido aderido ao meio de cultura, obtendo-se estampas mais limpas e com melhor resolução e aderência.

Após a produção da estampa, os processos de lavagem e passagem dos tecidos não danificaram nem modificaram a coloração e a forma das estampas, sendo possível serem realizadas com sucesso.

As estampas obtidas com formas mais complexas também foram possíveis, independentemente do tecido utilizado como base, desde que realizadas nas condições ideais de crescimento, contando com duas camadas de meio de cultura com diferentes concentrações de ágar.

Verificou-se que é possível a produção de estampas pelo método de estêncil utilizando-se como matéria-prima, no lugar da tinta, algumas linhagens de actinobactéria. Das linhagens utilizadas, as que apresentaram melhores resultados, tanto em termo de morfologia como em aderência e resolução, foram as linhagens G27 e G85.

O presente trabalho pode ser utilizado futuramente em processos industriais de obtenção de estampas localizadas no design de superfícies, desde que o método de obtenção das mesmas seja ajustado à produção em série. No entanto, este projeto talvez seja mais bem aproveitado, com potencial de agregar valor, se aplicado de maneira manual diretamente pelo usuário, modificando o modo como vê o vestuário que utiliza diariamente.

Os resultados obtidos visualmente também serviram como uma experimentação estética, na qual, a partir das imagens, foram criadas estampas e peças de vestuário que ilustrassem de maneira mais poética a temática apresentada. O resultado mostra uma linguagem entre o natural e o futurismo espacial dos anos 1960, em virtude da integração entre a tecnologia de tingimento da natureza e os processos industriais e biotecnológicos contemporâneos. Uma mistura entre o geométrico e o orgânico, o branco puro e as cores fortes obtidas nas microscopias (Figura 19).

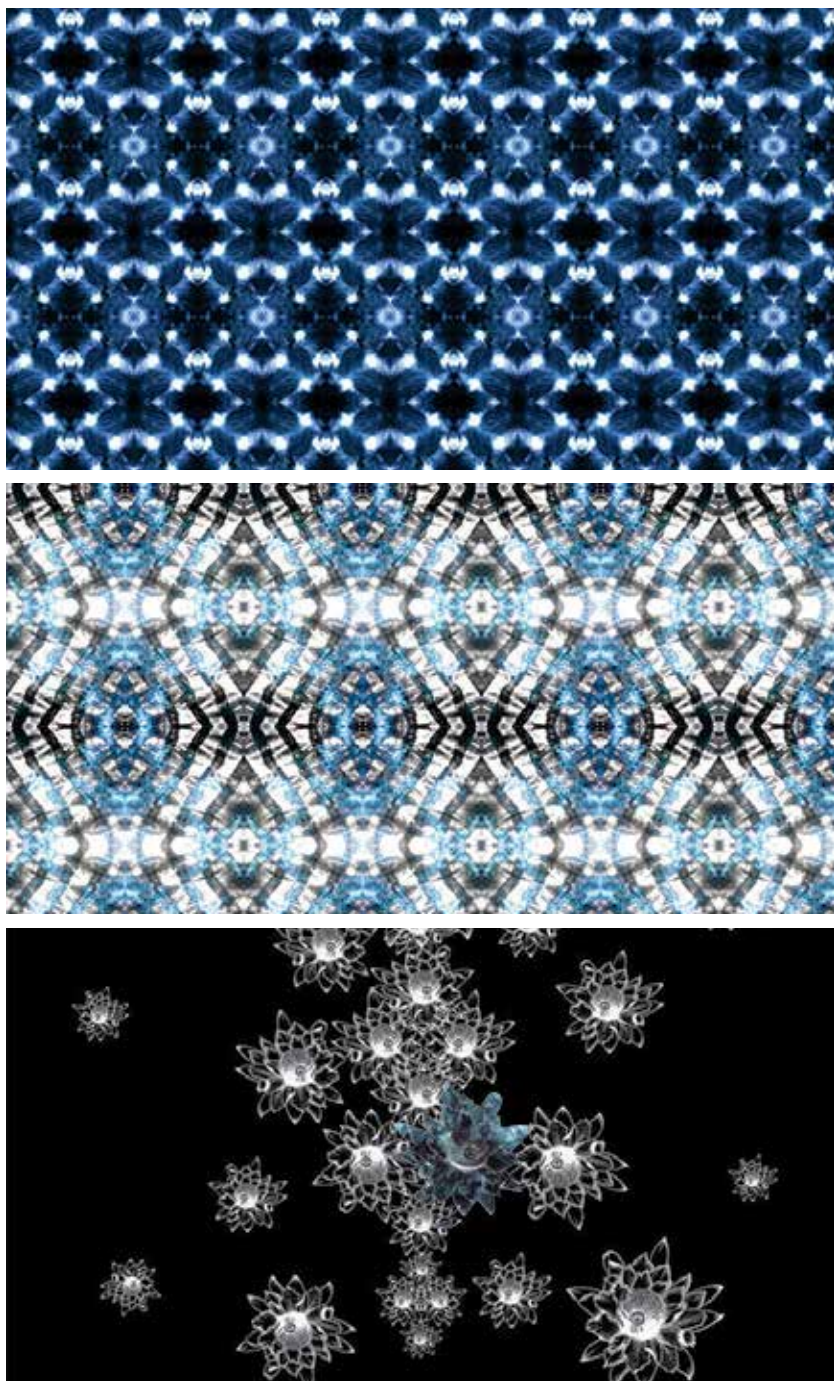
Figura 19: Entre bactérias, manchas e futuro. Experimentações estéticas do biodesign

[108]



Essa prática estética também pode ser conferida abaixo, nas estampas elaboradas a partir das microscopias ópticas geradas, mostrando o caráter manchado do tingimento utilizando bactérias, que tem essa característica aleatória, não previsível, da proliferação das bactérias, além de ser muito mais livre, natural e não linear (Figura 20). As estampas fazem referência ainda ao Nordeste, às raízes, à natureza e ao inesperado, de forma geral.

Figura 20: Estampas criadas para o BioStudio a partir das imagens obtidas em microscopia



Os próximos passos da pesquisa direcionam-se ao estudo de melhores técnicas de fixação da estampa e do pigmento após a lavagem, tornando-os mais duráveis. Também é de nosso interesse investigar a extração dos pigmentos produzidos por essas linhagens de actinobactéria para utilização em tingimentos, tintas de serigrafia e como base para estamparias tradicionais de cilindro e quadro.

Além disso, é salutar analisar a interação entre a estampa e a pele do usuário para verificar se existe algum tipo de reação alérgica, e a determinação mais específica da espécie dessas linhagens, sua caracterização morfológica e microscópica e a conferência da patogenicidade.

Por essas e outras razões, o estudo integrado de biodesign e vestuário é uma promissora área de estudo, que prima pela inovação e pode fomentar outras pesquisas e um rápido desenvolvimento de matérias-primas que se beneficiam das propriedades da natureza ou que, de uma maneira menos capitalista e mais afetiva, pode gerar roupas que tenham uma história com o usuário tanto em sua concepção como em sua utilização, criando novas relações entre homem e moda, estabelecendo novas experiências do vestir.

[Recebido em: 16/02/2016]

[Aprovado em: 30/03/2016]

[110]

REFERÊNCIAS

- BENYUS, J. *Biomimética: inovação inspirada pela natureza*. São Paulo: Cultrix, 2012.
- COGDILL, C. From Bioart to Biodesign. *American Art*, v. 25, n. 2, 2011.
- DETANICO, F.B.; TEIXEIRA, F.G.; SILVA, T.K. A biomimética como método criativo para o projeto de produto. *UFGRS: Design Et Tecnologia*, 2, 2010.
- FLETCHER, K.; LYANDA, G. *Moda Et Sustentabilidade: design para mudança*. São Paulo: Senac, 2011.
- GHOSH, E.L. Biomimicry in textiles: past, present and potencial. An overview. *Journal of the Royal Society Interface* 8: 761-755. 2011.
- LACERDA, C.; SORANSO, P.; FANGUEIRO, R. O contexto biomimético aplicado ao design de superfícies têxteis. *REDIGE*: v. 3, n. 3, 2012.
- LASKY, J. The beauty of bacteria. *The New York Times*: pages D1-D7, January 17, 2013.
- MADIGAN, M. [et al]. *Microbiologia de Brock*. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- MYERS, W. *BioDesign*. London: Thames Et Hudson, 2012.
- SABINO, M. *Dicionário da moda*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- SILVA, R. F. *Produção biotecnológica de um novo corante a partir do Streptovorticillium sp.* DAUFPE – 13729. Recife, 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade Federal de Pernambuco.