

Knobby Clubrush: Neurobiologia e Arte Robótica

Knobby Clubrush: Neurobiology and Robotic Art

Marília Lyra Bergamo¹⁰¹

Resumo

Esse artigo apresentará o objeto estético Knobby Clubrush, baseado no conceito científico de neurobiologia. Para este campo da ciência, plantas são como inteligências coletivas, ou comparado-se ao mundo animal são inteligências de enxame. Essa característica faz com que uma planta possa ser observada não como uma individualidade, mas um assemblage. Dentro deste raciocínio, várias características de comportamento e as soluções evolutivas formais das plantas podem ser incorporados para o desenvolvimento de arte robótica. Sendo assim, o artigo apresenta os fundamentos do pensamento da neurobiologia e como eles podem ser transpostos para o desenvolvimento de uma robótica de cunho poético a partir de um exemplo concreto. Knobby Clubrush é um objeto estético construído dentro desse modelo, e neste trabalho, é usado como referência para argumentação sobre a neurobiologia e a arte robótica.

Palavras-chave: Arte Robótica, Estética, neurobiologia.

Abstract

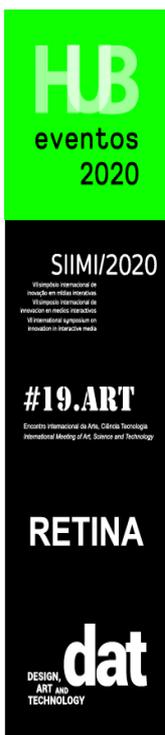
This article will present the artwork Knobby Clubrush, based on the scientific concept of neurobiology. For this field of science, plants are like collective intelligences, or compared to the animal world they are swarm intelligences. This characteristic means that a plant can be seen not as an individuality, but as an assemblage. Within this logic, various behavioral characteristics and the formal evolutionary solutions of plants can be incorporated for the development of robotic art. Therefore, the article presents the foundations of neurobiology and how they can be transposed to the development of robotics as poetics based on a concrete example. Knobby Clubrush is an aesthetic object built within this model, and in this artwork, it is used as a reference for arguments about neurobiology and robotic art.

Keywords: *Robotic Art, Aesthetics, neurobiology.*

1. Introdução

O campo científico da neurobiologia reconhece que as plantas evoluíram como organismos sésseis, por isso seus corpos são modulares sem órgãos individuais, e essa distinção do mundo animal criou obstáculos para reconhecê-los como organismos inteligentes (Mancuso et al. 2015). As plantas são, geralmente, distinguíveis como indivíduos e se comunicam entre si ou com parentes, esta comunicação permite uma coordenação sistêmica (Karban, 2015). Embora as soluções de sobrevivência nas plantas são frequentemente opostas às desenvolvidas pelos animais, elas também são capazes de imitar e negociar, e sua inteligência se assemelha a redes (Mancuso, 2018). Ainda assim, de acordo com Mancuso (2018), as abordagens em design e engenharia são geralmente baseadas nas funções dos animais e em várias situações pode não ser um avanço tecnológico.

¹⁰¹ Professora Adjunta do Departamento de Desenho da Escola de Belas Artes da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Sua pesquisa tem ênfase em Arte e Tecnologia, Sistemas Complexos e Design para mídias interativas, atuando principalmente nos seguintes temas: arte computacional e design digital.



Tomando a visão na neurobiologia como pressuposto científico, este artigo discute as questões teóricas e práticas que envolvem o desenvolvimento tecnológico de sistemas estéticos baseados no pensamento da Neurobiologia. Este é um tema recorrente de pesquisa, e em 2019, publiquei um capítulo introdutório ao tema chamado Arte Computacional Botânica: Argumentações sobre a replicação do modelo de comportamento de plantas (Bergamo, 2019). Neste artigo Knobby Clubrush: Neurobiologia e Arte Robótica, apresento uma discussão mais ampla sobre o tema, envolvendo novas pesquisas sobre o aspecto cognitivo e comportamental das plantas, bem como um trabalho de arte próprio chamado Knobby Clubrush de reprodução de tal sistema.

2. Mecanismos de inteligência e evolução em plantas

2. Os sistemas complexos são sistemas de inteligência emergente, e apresentam sempre três propriedades comuns: uma rede de componentes individuais, cada um seguindo regras relativamente simples sem controle central - sem líderes; as partes devem usar informação e sinalização de interações internas e externas; e as partes incorporam mudanças em seu comportamento para aprimorar suas chances de sobrevivência ou sucesso, por aprendizado ou processo evolucionário (Mitchell, 2009). Redes são sistemas complexos, e as plantas são, segundo a neurobiologia, sistemas descentralizados (redes) de inteligência cognitiva, e portanto, sistemas complexos. Plantas apresentam todas as propriedades desses sistemas, sua inteligência é formada de partes descentralizadas, que fazem uso de sinais e informações para auto-coordenação, aprendem e evoluem neste processo. Para a discussão de aprendizado nas plantas, é necessário a existência de uma memória que seja integrada ao sistema de tomada de decisões, e esse processo de memória/decisão/recriação de memória é defendido neste artigo como a capacidade de inteligência diretamente relacionada à existência física de uma estrutura capaz de gerar tais processos.

Segundo Witzany (apud Baluška et al, 2018), todos os processos de coordenação e organização nos organismos são o resultado de interações comunicativas entre células, tecidos e órgãos. Esta afirmação pressupõe que existe uma conexão direta entre matéria e memória, que segundo o autor se dá através de marcações epigenéticas de certas seções cromossômicas, visando modos de memória, que são essenciais para diferentes grupos de moléculas, como uma espécie de “imagem congelada” da soma total dos processos de biocomunicação de um organismo em um contexto situacional epigeneticamente relevantes.

As plantas costumam ser vistas e estudadas como autômatos de crescimento semelhantes a máquinas, mas sua coordenação só é possível pelo uso de sinais e memória, e não por pura mecânica. Ainda segundo Witzany, nas plantas são mais de 20 grupos diferentes de moléculas com funções comunicativas que foram identificados, e até 100.000 substâncias diferentes, conhecidas como metabólitos secundários, que são ativamente usadas na zona da raiz. Outra

HUB
eventos
2020

SIIMI/2020

#19.ART

Encontro Internacional de Arte, Ciência e Tecnologia
International Meeting of Art, Science and Technology

RETINA

dat

DESIGN,
ART AND
TECHNOLOGY

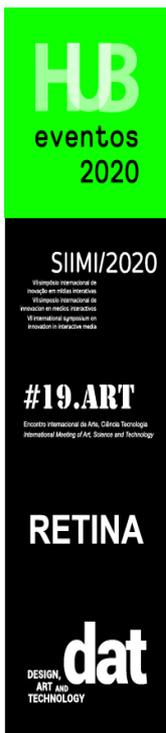
questão importante apontada pelo autor é que as plantas podem, sobrescrever seu código genético que herdaram de seus pais e reverter para o de seus avós ou bisavós, o que contradiz a convicção tradicional de que o DNA de novas gerações são herdados somente dos pais. Assim, as plantas são capazes de substituir sequência do código parental menos apropriadas no código atual, substituindo estes por outro de gerações anteriores, como uma espécie de cópia de backup. Mas em condições normais, a composição genética operativa provém dos pais. Isto significa que plantas transferem heranças, além da combinação genética parental, características reguladoras do genoma ancestral.

Toda essa informação sobre a relação entre, a genética, a fisicalidade da memória e a capacidade de restauração epigenética das plantas descreve como desconhecemos seus mecanismos de aprendizado, inteligência e evolução. Segundo Ramsey Affifi (apud Baluška et al, 2018), o psicólogo e filósofo John Dewey escreveu um artigo em 1986, na *The Psychological Review* que rebate as suposições prevalentes na época sobre a relação entre os organismos e seus ambientes.

“Até mesmo uma planta deve fazer algo mais do que se ajustar a um ambiente fixo; deve se afirmar contra seu entorno, subordinando-o e transformando-o em matéria e alimento. . . O ambiente deve ser plástico até as extremidades do agente” (Tradução Minha, Dewey, página 313)

Para Affifi, Dewey argumentou que o estímulo e a resposta não eram eventos independentes e correspondentes aos elementos sensoriais e motores do organismo. O autor afirma que algo que serve como um estímulo é constituído pela atividade motora do organismo e só continua a ser um estímulo por causa desta atividade motora contínua. Toda atividade sensorial dirigida tem uma base motora, enquanto toda atividade motora dirigida é também sensorial. Assim, as abordagens comportamentais (Behaviorism) que levam a resultados empíricos bem-sucedidos (leia-se: previsíveis), mantêm uma interpretação mecanicista dos fenômenos e afirma que esse modelo não é adequado para uma tomada de decisão contingente, que contenha escolha, experimentação, contexto e/ou propósito. Affifi defende que a pesquisa com plantas precisa evitar a repetição deste erro, uma vez que não há centralização do processo de tomada de decisão em plantas, ainda que existe um sistema radicular análogo a um cérebro¹⁰². Uma vez que, a informação sensorial que chega às raízes é processada e leva a algum tipo de mudança física. Portanto não há adaptação passiva às situações externas, e sim uma relação de seleção ativa e modificação comportamental. Sendo assim, Affifi conclui que “se as plantas são organismos inteligentes, não devemos esperar encontrar isso impondo uma interpretação mecanicista e linear de estímulo e resposta às suas

102 Muitos cientistas, incluindo o Darwin, já utilizaram a metáfora do cérebro em analogia ao sistema radicular das plantas.



ações” (Affifi, apud Baluška et al, 2018, pagina 23). Sendo assim, deveríamos procurar evidências de que plantas se envolvem em coordenadas sensório-motoras intencionais e unificadas que a levam a modificar o significado do que encontram e alterar o comportamento de acordo. Essa discussão é fundamentalmente importante para este artigo, uma vez que interfere diretamente na seleção de um modelo tecnológico a adotado para construção de sistemas complexos baseados em plantas. Não é possível, a partir dessa discussão, que ao tratar do desenvolvimento desses sistemas, passemos a considerá-los por premissas estímulo-resposta, é preciso a inclusão de uma estrutura de intencionalidade e relevância que levem a um objetivo, seja evolutivo ou de crescimento.

3. O modelo tecnológico em neurobiologia

Para a neurobiologia, há um conceito fundamentalmente intrínseco no pensamento humano de que as máquinas autônomas repliquem características humanistas, ou zoológicas. Para Mancuso (2018) esta situação revela que nossa percepção em direção a produção de novas tecnologias está sempre relacionada a replicação, expansão e melhoramento de funções humanas. O modelo tecnológico proposto pela neurobiologia está relacionado às pesquisas em tecnologia bio-inspiradas, que olham para a natureza como modelo de resolução de problemas tecnológicos. Seguindo essa linha, o desenvolvimento tecnológico inspirado em plantas deveria observar como essas consomem muito pouca energia, fazem movimentos passivos, são construídas em módulos, robustas e de inteligência distribuída. São sistemas de enorme plasticidade e adaptação a mudanças contínuas ambientais, sua principal característica é a fotossíntese multicelular, com algumas exceções, e constituem-se de uma porção elevada do subsolo e um sistema de raízes.

Plantas se relacionam diretamente com o modelo de construção de tecnologia distribuída, seus corpos são formados de unidades de repetição que juntas constituem sua arquitetura e define sua fisiologia (Mancuso, 2018). O autor ainda aponta que mesmo a definição de indivíduo usada em referência ao reino animal tem pouca relevância no mundo das plantas, uma vez que nem mesmo a estabilidade genética parece ser relevante para o mundo das plantas, sejam vistas as famosas chimeras de plantas. Portanto a arquitetura das plantas se aproxima sempre ao conceito de assemblage, onde as unidades básicas desta arquitetura possuem vida curta, mas a colônia poderia viver virtualmente para sempre.

4. Knobby Clubrush Arte Robótica

Knobby Clubrush é o nome comum de uma planta nativa facilmente encontrada nas paisagens ao redor das praias de Melbourne na Austrália. Seu nome científico é *Ficinia Nodosa*. Esta planta é um junco com caules subindo a um metro, parece ser uma bela espécie adaptada com uma estrutura nodosa em seu topo que parece ser aerodinamicamente projetada para áreas ventosas. De acordo com as ideias apresentadas Knobby Clubrush como Arte Robótica foi elaborado em três fases distintas onde se avaliou constantemente um



equilíbrio entre a forma e os desafios técnicos. O processo seguiu uma linha do tempo de aptidão, e a prototipagem foi desenvolvida de forma que cada etapa fosse um aprimoramento da materialidade e objetivos conceituais da peça.

4.1 Agente Robótico com Inspiração Biológica

Em Knobby Clubrush, cada haste robótica foi tratada como um agente robótico-computacional, e essas estruturas de inteligência fabricada são organismos epistêmicos nascidos dentro de uma ação circunscrita intencional, uma ação criativa. Criados com propósitos individuais, esses agentes artificiais simulam e desenvolvem configurações para gerar auto-organização de inspiração biológica como resultado de suas interações.

O protótipo inicial foi desenvolvido para experimentar algum potencial de sensibilidade e atuação, a ideia principal era criar uma estrutura robótica onde o movimento resultante seria aparentemente percebido como uma ação ambiental sobre o agente. Essa experimentação de criatividade em materiais e eletrônicos formulou uma série de pesquisas. A haste precisava usar uma matéria flexível o suficiente para causar uma certa capacidade de se dobrar e ao mesmo tempo ser resistente para suportar o Knobby (parte superior em forma de esfera). O Knobby precisava ser uma estrutura plástica e sensível na peça onde os sensores deveriam ser incluídos e com uma materialidade que permitisse sua criação por meio de computação (usando como gerador de forma final uma impressora 3D).

Como resultado, na abordagem inicial, o knobby capta internamente o vento para a exposição de sensores usando um acelerômetro, um giroscópio, um sensor de temperatura e um microfone. Esta parte sensível se comunica com a raiz, que é a parte ativa. Em Knobby Clubrush as raízes não crescem, elas aumentam dinamicamente a capacidade do caule de se expor. A Figura 1 mostra a estrutura do agente, onde uma pequena mola acoplada a um conjunto de arranjos lineares impressos em 3D permite o movimento usando um motor servo. Este mecanismo expõe a mola a mais ou menos atividade e, como consequência, a haste sobe ou desce. Com a haste mais alta a mola fica mais sensível e exposta ao vento, caso contrário, tende a permanecer menos flexível.

Foi levado em consideração que o agente deveria ter uma camada de percepção, onde os valores rastreados pelo ambiente se tornassem acessíveis para a lógica interna do agente. Na natureza, a força induzida pelo vento é calculada pela soma das forças do vento atuando em cada ponto da haste e coroa (Geitmann e Gril, apud Ennos, 2018), e a fórmula abaixo foi usada

$$wForce = \sum(XYZ) / 2 * p * A * z * u;$$

onde, $\sum(XYZ)$ é a soma dos valores capturados pelo Giroscópio + Dados Acc nos eixos X, Y e Z, p é o valor constante do ar 1,226, e a diferença entre a posição do sensor e a base do protótipo foi considerada (z + - = 100 cm), também outros dados foram interpretados como A = 1 (um agente por vez), e u é a velocidade do vento horizontal, a soma de o X dados¹⁰³;

103 Na peça final, esse valor de z passa a 30,5 cm, e A = 9 passa a 9 (nove agentes)



Como estratégia evolutiva, as plantas cooperam no processamento da informação e na tomada de decisões (Thompson, 2018), e no processamento da aprendizagem, o conceito de memória e inteligência estão intimamente relacionados (Baluška et al. 2018), como resultado, o agente de Knobby Clubbrush precisava de uma memória interna que o habilitasse a salvar algumas informações. Memória e sensibilidade geram dados que são enviados a uma camada criativa, onde as ações são conduzidas de acordo com o interesse, o tédio e a curiosidade (Saunders, 2019).



Fig 1. Imagem representativa do agente robótico da haste, que ilustra a proporção, mecânica radicular e plasticidade nodosa - Knobby (Arquivo da Artista).

4.2 Desenvolvimento de muitos agentes

Um sistema descentralizado foi primordial para esta peça, pois de acordo com a teoria da neurobiologia, a distribuição de funções sem especializações principais dos órgãos é o que mais distingue as plantas do reino animal (Mancuso, 2018). A abordagem mais valiosa deste conceito em robótica é o design de funções de distribuição em estruturas físicas e felizmente parte da tecnologia robótica baseada em estruturas eletrônicas pode ser facilmente modulada. Assim, o módulo de unidades estáveis foi selecionado para desenvolver o segundo estágio de prototipagem, esses componentes foram comprados separadamente e a decisão final foi usar o [MPU-6050 6-DoF Accel and Gyro Sensor](#), [Silicon MEMS Microphone Breakout - SPW2430](#) e um [TCA9548A I2C Multiplexer](#). Um Arduino Shield foi desenvolvido especialmente para Knobby Clubbrush, esse Shield conteria as conexões necessárias para unir as partes distribuídas dos agentes ao sistema

raiz, e tudo isso era controlado por uma placa [Arduino R3 Uno](#). Embora a placa Arduino e o Shield (Figura 2) tenham sido necessários para disponibilizar a peça para ser replicada, eles podem ser considerados conceitualmente controversos sobre as partes de divisão da planta, pois representam uma abordagem centralizada necessária para desenvolver o software .

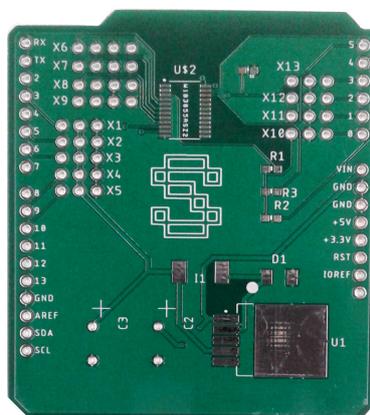


Fig 2. Arduino Shield desenvolvido com o suporte da Sensilab Monash Technology (Acervo da Artista).

Para desenvolver uma relação biológica, esses agentes precisam cooperar e competir por recursos, além disso, os cruzamentos permitem a geração de novos agentes em um processo evolucionário da arte (McCormack, 2019). Este processo não pôde ser totalmente implementado internamente no Knobby Clubrush, e uma divisão social foi feita (Figura 3). No código, cada agente com habilidades de acelerômetro procura a posição uns dos outros para evitar a competição, escolhendo posições diferentes. Porém, se todos estiverem competindo, aquele que se move no momento morre e pode renascer se ocorrer uma condição social. No campo social, cada agente desenvolve internamente funções de interesse, tédio e curiosidade (Saunders, 2019), mas se o acaso acontecer e o agente tiver a sorte de ter morrido curioso pode ser revivido. Isso só poderia ser implementado na camada de computação Knobby Clubrush. O principal desafio ainda consistia no fato de que os agentes em Knobby Clubrush são peças robóticas, que em teoria poderiam ser substituídas: uma haste foi desenvolvida de forma que pudesse ser destacada da mola e uma nova pudesse ser criada. Os fenótipos não seriam produzidos por si próprios, como ocorre na arte evolutiva do software, mas exigiria a agência de de um desenvolvedor humano, mas tecnicamente podem ser substituídos fisicamente.

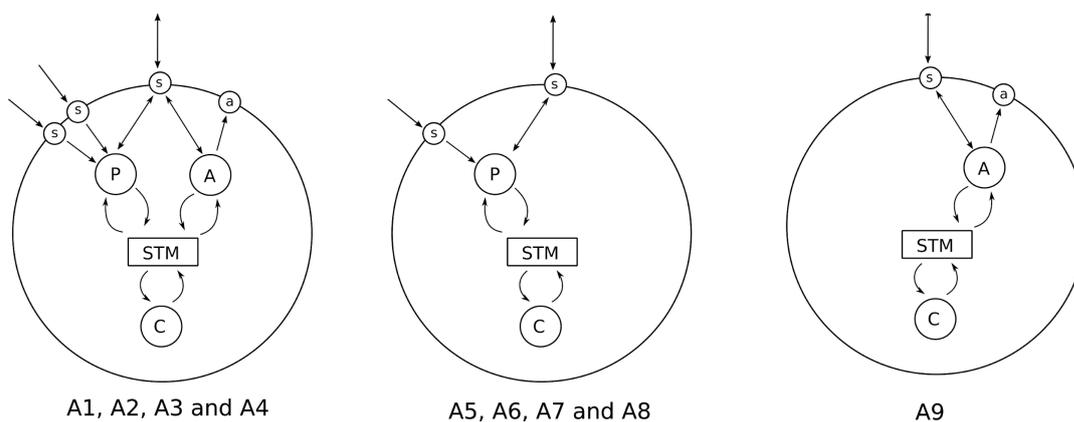


Fig 3. Arquitetura de software. A1 a A4 (Agentes Winder): com a capacidade de sentir, agir e receber informações de outros agentes, A5 a A8 (Agentes Capturer): com a capacidade de detectar e receber informações de outros agentes, A9 (Agente Turner): com a possibilidade de receber informações de outros agentes e atuar no meio ambiente (Acervo da Artista).

4.3. Knobby e Assemblage

As formas na natureza são resultados de muitas interações com o meio ambiente e da seleção natural, nem uma única folha está livre desse processo de tempo e sobrevivência (Ball, 2016). A matéria é plástica, e deveria ser também em Arte Robótica, em Knobby Clubrush eu concentrei essa plasticidade no topo dos agentes, onde foi necessário um invólucro para ser mecanicamente capaz de movimentos aerodinâmicos e proteger as partes sensíveis (Figura 4). Foi uma decisão importante nesta obra, pois o desenvolvimento de formas geradas por algoritmos tem aumentado nas áreas de Design e Arquitetura, onde instruções geradoras de computador podem ser impressas (Cogdell, 2019). Como resultado, para gerar o Knobby, um padrão de cones foi criado por código. Todos os cones foram criados com pequenos orifícios na parte superior para permitir que o ar e o vento afetem os microfones e sensores de temperatura, todos apresentam pequenas diferenças nas laterais dos orifícios e inclinações dos eixos Z. Uma segunda camada do mesmo padrão é usada para criar um espaço interno dentro do Knobby. Em Knobby Clubrush esse padrão é aleatório, mas representa um potencial de implementação de resultados de agentes bem adaptados para serem transmitidos às gerações futuras.

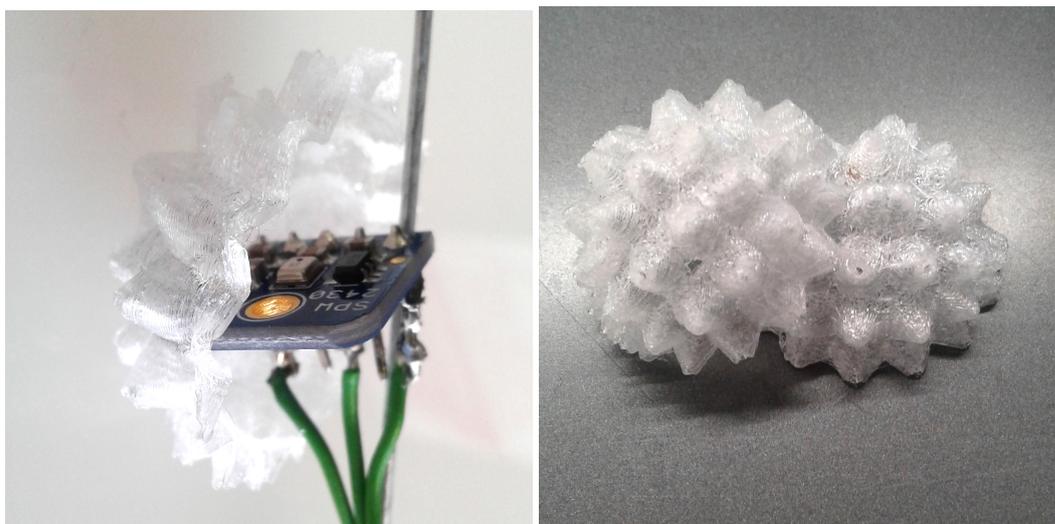


Fig 4. Knobby impresso em 3D, baseado em um código gerador de padrões de cones com duas camadas (Acervo da Artista).

O assemblage (Figura 6) é composto por nove agentes, conforme divisão apresentada na arquitetura do software (Figura 3). Foi desenvolvida uma estrutura modular impressa em 3D para unir um agente do tipo Winder a outro do tipo Capturer, estes são conectados formando um bloco que permite a inclusão de um Turner no centro. Todos os cabos da área sensível à raiz são organizados com uma matéria de aço e cabos verdes cobertos por uma película isolante de plástico seco (Figura 5). Os cabos são organizados com terminações que devem ser conectadas a uma blindagem e a uma placa controladora. A montagem final pode ser replicada muitas vezes e, no futuro, poderia ser incluída uma comunicação em rede entre as peças.

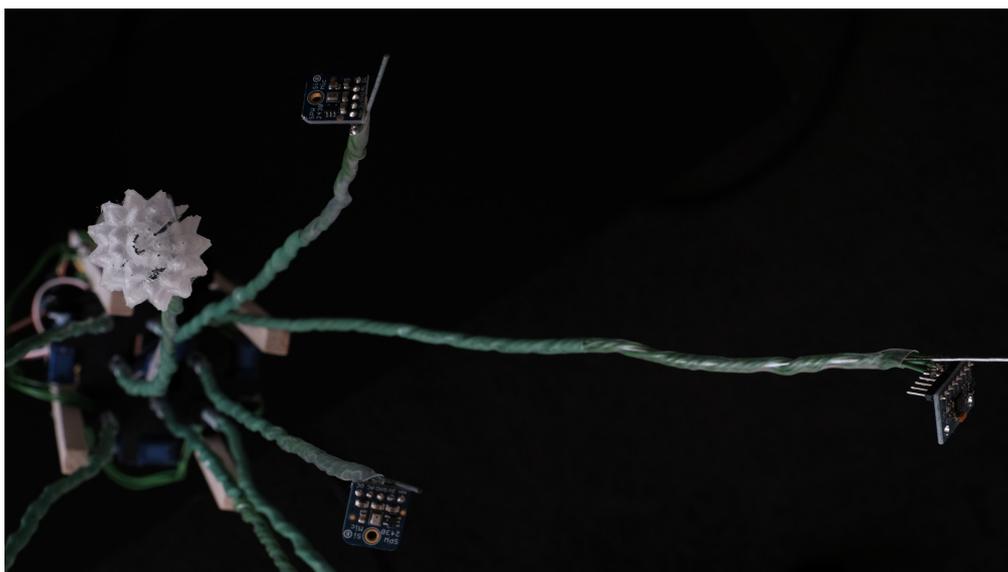


Fig 5. Knobby impresso em 3D, com cabos verdes cobertos por um filme isolante de plástico seco (Acervo da Artista).



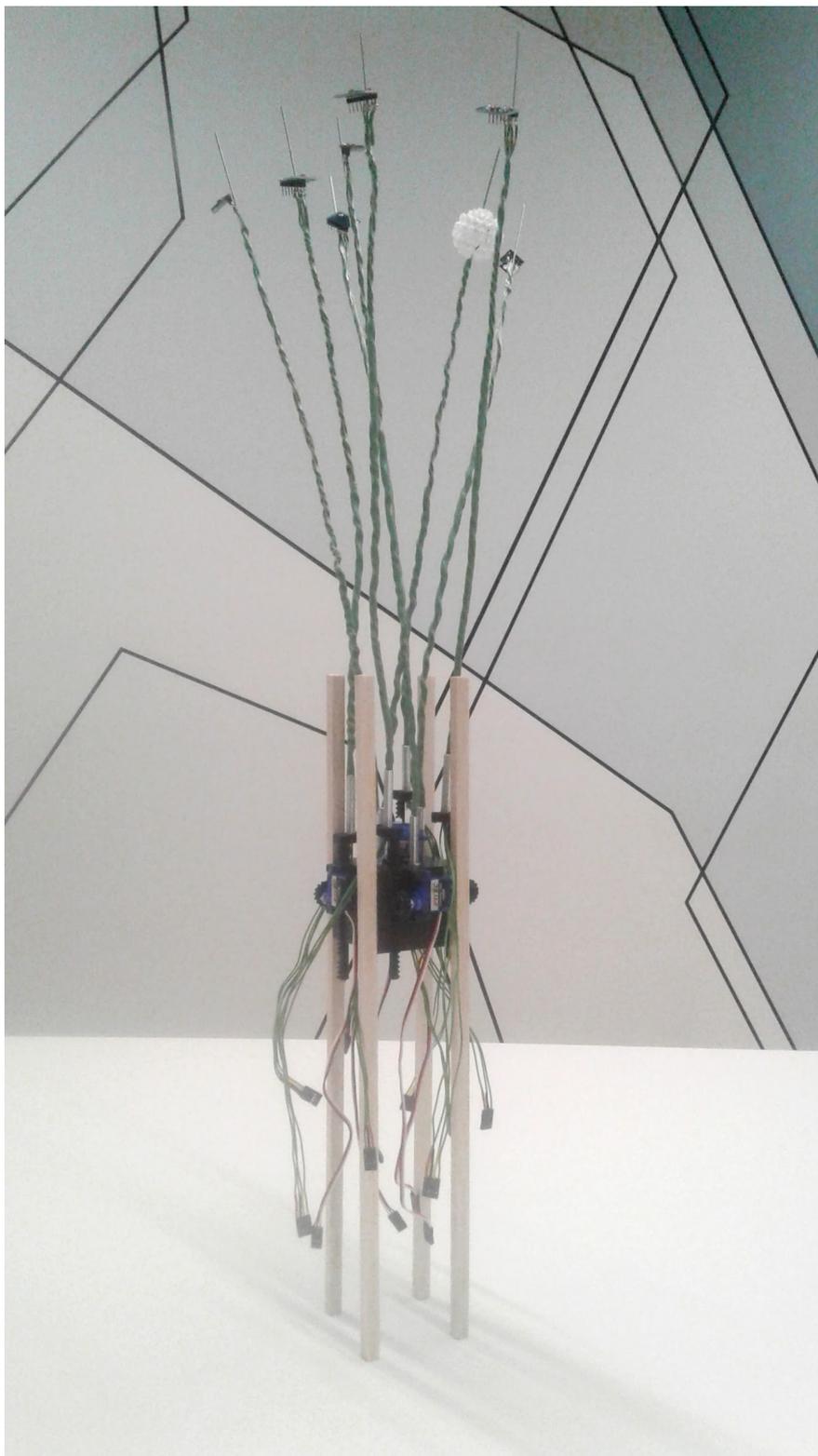


Fig 6. Knobby Clubbrush Assemblage. Desta foto foram retirados o *Shield* e a placa de controle, e também apresenta apenas uma haste nodosa como apelo plástico da peça, também disponível em <https://youtu.be/vm6-FIt7IOE> (Acervo da Artista).

Discussões

Para efeito de análise da complexidade, há a necessidade de observar a geração de padrões pelo sistema, portanto foram coletados dados do primeiro agente. Na primeira etapa dados foram

HUB
eventos
2020

SIIMI/2020

#19.ART

Encontro Internacional de Arte, Ciência e Tecnologia
International Meeting of Art, Science and Technology

RETINA

dat
DESIGN,
ART AND
TECHNOLOGY

coletados do primeiro agente, com todos os sensores e uma unidade única. Estes dados foram capturados em uma base de dados, cada teste teve uma duração de aproximadamente 15 minutos. Na figura 7, a interação humana pode ser detectada por enormes dados de vento incomum (vermelho escuro) e são considerados posição inicial. Quando apenas movimentada pelo vento o agente se permite liberar força para as raízes e mas há retorno com as mudanças de vento muito rápidas. A segunda posição de validação dos dados é a posição de descanso algumas vezes toquei a planta sem realmente forçá-la a reiniciar sua posição com a interação como essa ação atuaria em relação às raízes. Na terceira posição, a planta recebe muitas variações de vento, mas está no meio de outra, então mantém sua decisão de relaxar a força da raiz e continuar crescendo.

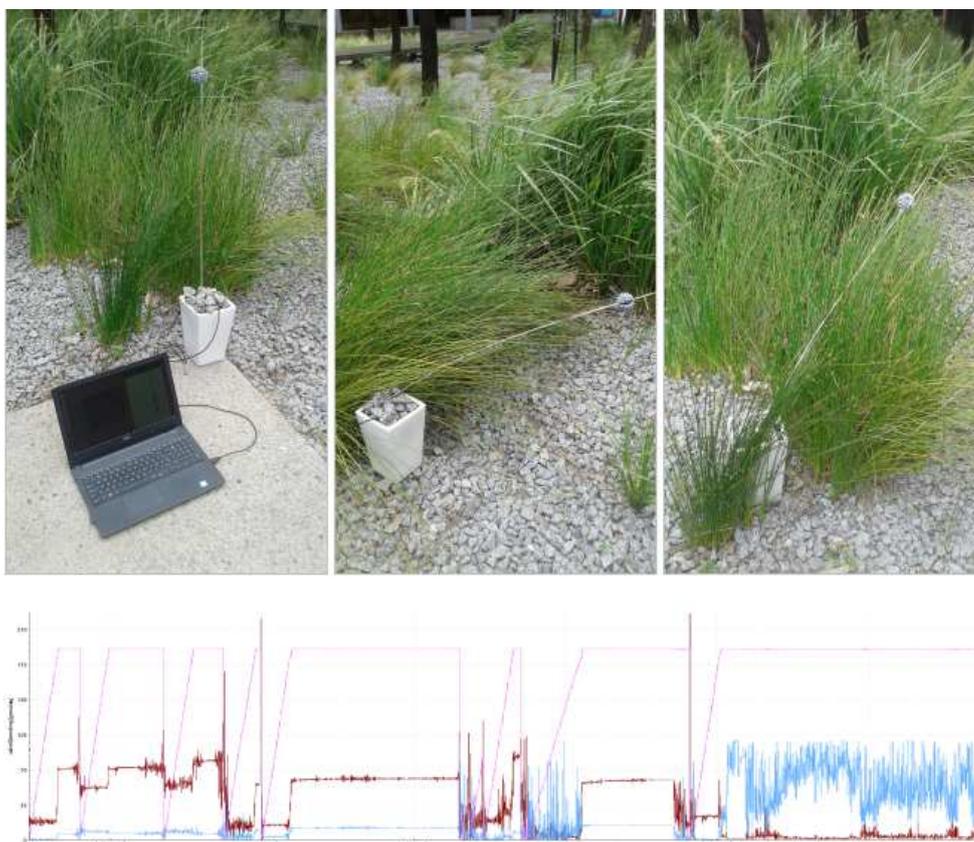


Fig 7. Dados coletados em 07/11/2019, o agente responde ao vento de forma contínua e crescente, e mantém sua taxa de crescimento baixa quando a vibração é maior que a frequência do vento (acervo da artista). O segundo protótipo, que inclui vários agentes teve sua coleta de dados realizada em 28 de Dezembro de 2019 e alguns dados são apresentados nas figuras 8 e 9 abaixo.

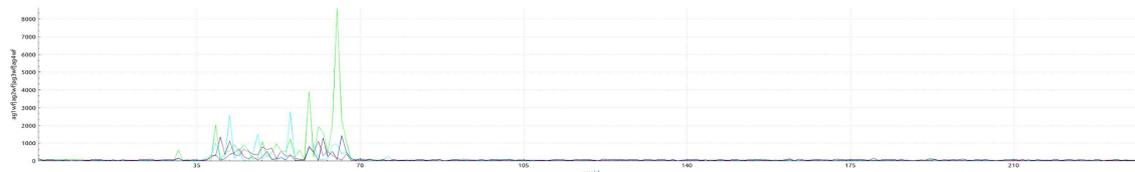


Fig 8. Dados coletados em 28/12/2019, força do vento capturada pelos agentes detectores de vento (acervo da artista).

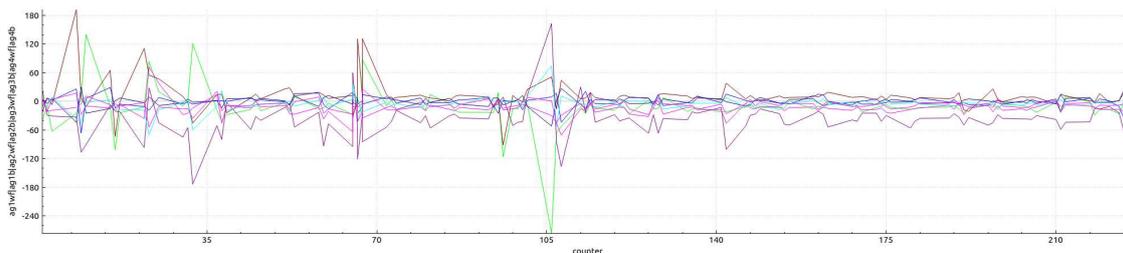


Fig 9. Dados coletados em 28/12/2019, vento versus curvatura da planta nos agentes A1, A2, A3, A4. (acervo da artista).

Com vários agentes a coleta de dados tinha a intenção de mapear a ausência de isolamento entre as partes, e também as pequenas diferenças de valores que tornavam cada agente uma estrutura única. Na figura 8 observa-se que nenhum dos agentes que detectam o vento ficam sem receber dados e há uma integração no padrão de recebimento dos mesmos, mas essa captura também revela que o posicionamento de cada um fará com que os valores das capturas sejam únicos para cada agente. O mesmo se repete na captura do vento versus o valor de curvatura das plantas, há um padrão de detecção do vento que é condizente com o posicionamento de cada agente.

Trabalhos futuros

O Knobby Clubrush não pode ser finalizado, pois sua última etapa foi concomitante com o fechamento do laboratório devido à pandemia do Covid-19 em Março de 2020. Para esse tipo de pesquisa é necessário o ambiente do laboratório, de pesquisa e de experimentação da materialidade e fisicalidade das respostas do próprio corpo robótico. Portanto há a intenção de retomada no desenvolvimento de novas estruturas de agenciamento robótico com os princípios da neurobiologia com a reabertura dos laboratórios, mas não a retomada desse modelo exato o Knobby Clubrush. Tenho intenção de produzir outras formas de agentes eletrônicos e analisar seu comportamento enquanto inteligência de enxame.

Referências

- Ball, P. (2011) *Branches : Nature's Patterns: a Tapestry in Three Parts*. Oxford, UK: Oxford University Press, Incorporated.
- Cogdell, Christina. (2019) *Toward a Living Architecture?: Complexism and Biology in Generative Design*. Univ Of Minnesota Press.
- Baluška, Gagliano, & Witzany. (2018). *Memory and learning in plants (Signaling and communication in plants)*. Cham, Switzerland: Springer.
- Bastian, M.; Jones, O.; Moore, N.; Roe, E. (2016) *Participatory Research in More-Than-Human Worlds*. London, UNITED KINGDOM: Routledge.
- Chamovitz, D. (2012) *What a plant knows : a field guide to the senses of your garden - and beyond*. Richmond: Oneworld.
- Bergamo, M (2020). *Poéticas da Complexidade In: Escrita, Som, Imagem: Novas travessias*. 1 ed. Belo Horizonte: Programa de Pós-Graduação em Artes Escola de Belas Artes Universidade Federal de Minas Gerais, v.1, p. 19-44.





- Bergamo, M (2019). Arte Computacional Botânica: Argumentações sobre a replicação do modelo de comportamento de plantas In: Pesquisas em animação: cinema e poéticas tecnológicas.1 ed.Belo Horizonte: Editora Ramallete, v.1, p. 217-230.
- Dewey, John. (2008) The Early Works of John Dewey, Volume 2, 1882 - 1898: Psychology, 1887 (Collected Works of John Dewey): The Early Works, 1882-1898: 1887 v. 2. Southern Illinois University Pr.
- Eiben, A. E, Smith, J. E(2015) Evolutionary Robotics. In: Introduction to Evolutionary Computing. Natural Computing Series. Springer, Berlin, Heidelberg
- Ennos, A. R. (2000) Plant life. Malden, MA: Malden, MA : Blackwell Science.
- Geitmann, A. E.; Gril, J. E. (2018) Plant biomechanics : from structure to function at multiple scales. Cham : Springer.
- Karban, Richard (2015). Plant Sensing and Communication. University of Chicago Press.
- Mancuso, Stefano. (2018) The Revolutionary Genius of Plants: A New Understanding of Plant Intelligence and Behavior. Edição: Translation. New York, NY: Atria Books.
- Mancuso, Stefano, and Sergey Shabala, eds. (2007) Rhythms in Plants: Phenomenology, Mechanisms, and Adaptive Significance. 2007 edition. Springer.
- Mancuso, Stefano, Alessandra Viola, Michael Pollan, and Joan Benham. (2015) Brilliant Green: The Surprising History and Science of Plant Intelligence. Island Press.
- McCormack, Jon. (2019) “Creative Systems: A Biological Perspective.” In Computational Creativity, edited by Tony Veale and F. Amílcar Cardoso, 327–52. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-43610-4_15.
- Mitchell, M. (2009) Complexity: A Guided Tour. Nova Iorque: Oxford University Press, Inc.
- Normann, Johannes, Marco Vervliet-Scheebaum, Jolana T. P Albrechtová, Edgar Wagner, Stefano Mancuso, and Sergey Shabala. (2007) "Rhythmic Stem Extension Growth and Leaf Movements as Markers of Plant Behaviour: The Integral Output from Endogenous and Environmental Signals." In Rhythms in Plants: Phenomenology, Mechanisms, and Adaptive Significance, 199-217. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Niklas, K. J.; Spatz, H.-C. (2012) Plant Physics. Chicago, UNITED STATES: University of Chicago Press.
- Saunders, Rob. (2019) “Multi-Agent-Based Models of Social Creativity.” In Computational Creativity, edited by Tony Veale and F. Amílcar Cardoso, 305–26. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-43610-4_14
- Thompson, K. (2019) Darwin’s Most Wonderful Plants: Darwin's Botany Today. London: Profile Books.