XX SIMPEP
SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
04, 05 e 06 de novembro 2013
Engenharia de Produção & Objetivos de Desenvolvimento do Milênio

NA IMPORTÂNCIA DA BIOLOGIA EM ENGENHARIAS: BIOMATEMÁTICA E BIOENGENHARIAS

JORGE GUERRA PIRES - jorge.guerrapires@mathmods.eu
UNIVERSITY OF LAQUILA (UAQ)

Resumo: *EM ESTUDOS RECENTES, OBSERVAMOS UMA TENDÊNCIA ATUAL EM ESTUDOS BIO-INSPIRADOS. DE FORMA NEM SEMPRE DESTACADA, ESSA ONDA DE ESTUDOS É ALGO RECENTE, MAS COM RAÍZES NO PASSADO (ALGUNS REFEREM AOS ESTUDOS DE ARISTÓTELES). PODEMOS AFIRMAR COM GRRAU DIFÍCIL DE QUANTIFICAR QUE ESSA ONDA ESTARÁ ENTRE OS DESAFIOS DO MILÊNIO COM PROMESSAS DE DESENVOLVIMENTO DE NOVAS IDEIAS E ÁREAS DE CONHECIMENTO. NESTE ARTIGO O AUTOR USA SEUS MELHORES DONS INTELECTUAIS NA BUSCA DE MOSTRAR FORMALMENTE ESTA NOVA TENDÊNCIA E CONVIDA NOVOS CIENTISTAS (ESTUDANTES EM ESPECIAL) A ADERIREM A ESSA ONDA. DE FORMA PARALELA OBJETIVAMOS SUGERIR AOS RESPONSÁVEIS PELO ENSINO DE ENGENHARIAS (EM ESPECIAL NO BRASIL), ESPECIALMENTE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E ÁREAS CORRELACIONADAS, A INSERIREM ESSA NOVA ONDA DENTRO DA GRADE CURRICULAR DOS NOVOS ALUNOS. O ARTIGO É BASEADO EM LEITURAS (AS REFERÊNCIAS SÃO DEIXADAS) E EXPERIÊNCIA PRÓPRIO (PODENDO SER ENCARADO COMO O CORAÇÃO DO TRABALHO).*

Palavras-chaves: *ENSINO DE ENGENHARIAS; BIOENGENHARIA; DESAFIOS DO MILÊNIO; BIOMATEMÁTICA; ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.*

Área: *10 - EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*
Sub-Área: *10.1 - ESTUDO DO ENSINO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*

ON THE IMPORTANCE OF BIOLOGY IN ENGINEERING SCIENCES: BIOMATHEMATICS AND BIOENGINEERING SCIENCES

Abstract: *IN RECENT SCIENTIFIC ENDEAVORS, WE HAVE NOTICED A TREND TOWARD BIO-INSPIRED STUDIES. USUALLY IN A RECKLESS VIEWPOINT, THIS WAVE OF ORIENTED-STUDIES IS SOMETHING RECENT, BUT ROOTED IN THE PAST (SOME POINTS OUT INFLUENCES FROM ARISTOTLE.) WE MIGHT ASSERT WITH A CERTAIN DIFFICULT DEGREE TO QUANTIFY THAT THIS WILL TAKE PLACE AMONGST THE CHALLENGES OF THE NEW MILLENNIA WITH PROMISES OF DEVELOPMENT OF NOVEL IDEAS AND BRANCHES OF SCIENCE. ON THE CURRENT PAPER, THE AUTHOR MAKES NO EFFORT TO APPLYING ITS BEST INTELLECTUAL ABILITIES IN THE TARGET OF DEMONSTRATING IN A FORMAL APPROACH THIS NEW TREND AND SIMULTANEOUSLY WE INVITE THE NEW SCIENTISTS (IN SPECIAL STUDENTS) FOR GATHERING THIS MASSIVE EFFORT. IN A PARALLEL MANNER, BUT NOT LESSER, WE INTEND TO CATCH THE ATTENTION OF THE RESPONSIBLE ONES FOR THE TRANSCRIPTS OF THE ENGINEERING SCIENCES TO TAKE INTO ACCOUNT THIS PAPER WHEN DESIGNING NEW COURSES IN ENGINEERING SCIENCES OR EVEN MAKING CHANGES IN OLD-TEACHING PATHWAYS; THIS IS ESPECIALLY FOR BRAZILIAN INSTITUTIONS AND (INDUSTRIAL) PRODUCTION ENGINEERING. THE ARTICLE IS BASED ON PAPERS – WHICH REFERENCES ARE LEFT – AND PERSONAL EXPERIENCES – WHICH CAN BE FACED AS THE GOLDEN NUGGET OF THE PAPER –.*

Keyword: *ENGINEERING-SCIENCES TEACHINGS; BIOENGINEERING; THE CHALLENGES OF THE MILLENNIA; BIOMATHEMATICS; (INDUSTRIAL) PRODUCTION ENGINEERING.*

1. Introdução

A maioria das pessoas – mesmo sendo acadêmicos – ficaria surpresa ao estudarem as relações entre matemática e música; ao leitor interessado, pode-se consultar Abdounur (2003). Alguns músicos que alcançaram certo respeito no meio ao começarem a estudar matemática não esconderam o fascínio devido aos novos horizontes que esses começaram a contemplar. De forma oposta, não é incomum o envolvimento de matemáticos e físicos em música; o leitor é convidado a consultar Patel (2010) para uma forma alternativa de ver o problema, como a música influencia o cérebro humano, algo que não é a forma analisada. Uma questão que poderíamos levantar é se existe outras formas de explorar sinergia entre áreas não aparentemente afins e/ou amigáveis em busca de novos horizontes.

Poderíamos nos indagar se existem essas relações mencionadas entre matemática, engenharia e biologia – de forma extensiva, física e outros campos -? Se existe, poderíamos usar isso em prol de novos modos de revolver problemas (tanto antigos quanto novos, e ainda por aparecerem)? Este artigo presente responde "sim" para todas essas perguntas. Dado a natureza ousada de certa forma do trabalho, nos limitaremos a estudar casos e generalizar baseado em intuição em vez de dedução ou indução; trabalhos futuros poderão eliminar essas limitações.

Muitos afirmariam de forma incipiente que temos uma divergência entre áreas científicas devido ao aumento significante de subcampos de investigação; por exemplo, se nos atrevermos a anotar neste artigo todos os campos de pesquisa atualmente que levam o termo 'engenharia', gastaríamos todo o artigo e um pouco mais. Na verdade, o que poucos têm observado é que esta divergência logo se tornará convergência, algo somente presente no "Milagre Grego", todos os campos eram investigados de forma unificada. Essas subáreas *podem ser idealizadas como "combinações genéticas" entre diferentes áreas de conhecimento em busca da melhor forma de existir perante demandas*; a sociedade tem mudado muito desde tempos antigos. A maioria das áreas, para não dizer todas, sofreu mudanças com o tempo, ganhando novos nomes ou mesmo mantendo o nome; engenharia de produção é um exemplo de um campo que surgiu devido a novos horizontes alcançados no meio científico, suprir deficiências das outras engenharias. Em um futuro não possível de se estimar muitas dessas áreas que surgiu devido à mistura de campos 'fortes' do conhecimento desapareceram junto com muitas das áreas atuais. Termos como 'bioengenharia', 'biomatemática', 'biofísica', 'engenharia matemática', e 'biologia matemática' serão pleonasmos; esses exemplos são ilustrativos em vez de exclusivos, o leitor é desafiado a encontrar essa situação em áreas do seu campo de conhecimento.

O desafio deste artigo é apresentar ao leitor a tese de que *engenheiros devem estudar biologia*, não por vaidade ou similar, mas por necessidade de adaptar-se às novas demandas que estão por vir; o oposto é discutido em Noble (2006) e Keller (2003), por exemplo. Leitores das áreas biológicas são desafiados a fazerem o mesmo na suas áreas; uma vez que a onda é bidirecional; estes podem usar, como sugestão, Noble (2006) e Keller (2003) como ponto de partida.

Temos uma mentalidade de que quem não gosta de biologia faz engenharia ou matemática; isso é na contramão do que estão sendo desenvolvido pelos programas de ponta em pesquisas. Essa mentalidade se agrava com professores que pensão o mesmo, mas por terem sido educados de forma "tradicional" e nunca buscaram se atualizarem. Na verdade, essas mudanças foram rápidas. Keller (2003) documenta a dificuldade de trazer biomédicos a darem credibilidades a modelos matemáticos em matéria viva; veja Clark (1971) para uma nota interessante no interesse de Einstein (famoso físico, matemático e filósofo do milênio passado) em matéria viva, mas esse confessa a sua cresça, algo aceito entre muito físicos e

matemáticos na época, de que não podemos modelar matéria viva ou essa é muito complexa; isso foi aproximadamente há cem anos, o que mostra o quão avançamos. Este avanço pode ser atribuído principalmente aos computadores (cálculo numérico). Shonkwiler e Herod (2009) destaca este fato no contexto da nova e desafiadora área chamada de Biologia Matemática (*Mathematical Biology*).

A motivação deste trabalho é tripla: 1) discussão recente com um biólogo, a discussão na verdade era sobre o trabalho mais recente do autor e uma possível parceria; 2) formação em engenharia e ciências da vida (*life sciences*), de forma separada e independente; 3) pesquisas recentes deste nesta direção. Caso isso não sirva como motivação para o leitor, somente aceite a onda recente em estudar (investigar) campos por natureza multidisciplinares e interdisciplinares.

Recentemente o autor discutiu seu trabalho Pires (2012a) com um professor da área biológica, este comentou o problema de convencer alunos das áreas de engenharias a trabalharem com biologia. Isso é realmente preocupante uma vez que em uma taxa estimada pelo autor de oito para cada dez programas na Europa e Estados Unidos são programas relacionados à aplicação de engenharia a biologia e o oposto em busca de novos métodos; algo que não pode ser feito se o engenheiro ou matemática possui nenhum conhecimento da área biológica. O projeto genoma deixou uma quantidade massiva de dados, algo que não pode ser tratado com os modelos que geralmente biólogos usam, é necessário parcerias; talvez uma das parcerias mais famosas neste espírito ocorreu com Crick e Watson (em 1954), esses sugeriram a estrutura atual do DNA (estruturas que guardam informação importante para a 'vida'). De forma similar áreas como biônica, que dependem do entendimento da parte de engenheiros do funcionamento de 'máquinas viva', estão sendo ponto de interesse (HUMPHREY, 2003). Novos resultados estão surgindo em campos da biologia e os novos modelos matemáticos devem levar em consideração esses, como novos resultados em genética (HUMPHREY, 2003); Humphrey (2003) apresenta princípios de um campo que promete, chamado de *biomecânica do contínuo*. Em curso recente, o autor tomou conhecimento de que os paises Europeus irão investir de forma massiva em pesquisa em neurociência (mapeamento do cérebro humano); uma área bela, mas que não pode ser entendida ou ampliada empregando-se a forma antiga de ver a ciência, como grupos de interesse separados e independentes.

De forma a fazer o ponto, será discutido duas áreas: Redes Neurais (Inteligência Artificial), seção 2, e Biomecância (Biomatemática e Biofísica), seção 3; ambas são atualmente consolidadas servindo de exemplo para novas áreas sugindo e ainda por surgir. Ao final será acresentado outros exemplos menores de forma a consolidadar o trabalho, seção 4. O autor reconhece as limitações desde trabalho e convida outros a encontrarem e documentarem essas tendências em seus campos de estudo; note que isso não será trabalho árduo, somente digitar o artigo de acordo com o formato do encontro. As escolhas do autor é tendeciosa de acordo com trabalhos deste. Um estudo de caso é adicionado visando ilustração, seção 5; este pode ser estendido em trabalho futuros. O estudo de caso foi desenhado especialmente para o artigo, sendo assim algo novo, este foi discutido matendo em mente limitação do tamanho do artigo e natureza simples desde. Seção 6 fecha o trabalho com conclusões e considerações finais; as referências são deixadas em seguinda. Nenhum anexo foi adicionado.

2. Inteligência Artificial: *Redes Neurais*

Redes Neurais Artificiais (RNA), ou simplesmente *redes neurais*, são modelos

matemáticos-computacionais bio-orientados que buscam resolver problemas de modelagem tanto convencional quanto não convencional; problemas como "sim" ou "não" baseado em dez entradas, por exemplo, ou mesmo problemas de "extração" de características principais são problemas geralmente modelados de forma satisfatórias pelas redes neurais. Estes são problemas que geralmente não podem ser resolvidos com métodos convencionais ou mesmo representariam problemas para estes,

Em todas as gerações de redes neurais, essa buscou aproximar cada vez mais o que realmente ocorre no cérebro humano. Devido à complexidade no cérebro humano, duas áreas nascerem desta busca de "pensar em como pensamos": 1) neurociência; e 2) inteligência artificial. Hoje estas duas são claramente distinguíveis, excerto pelas raízes. Modelos de neurociências são marcados por sistemas dinâmicos, bastante complexos matematicamente e custosos computacionalmente. Modelos para inteligência computacional estão preocupados em resolver problemas. Algo similar a como "imitamos" os pássaros depois de todos os esforços: somente na capacidade de voar, mas os meios por traz são bem diversos. Em curso recente do autor, este teve contado com as novas gerações de redes neurais para inteligência computacionais: estas procuram incorporar os novos achados em neurociência e ao mesmo tempo ser "útil"; de forma paralela as gerações seguintes iram mais para a física e matemática. Em inteligência computacional resolver um grupo de problemas práticos "batiza" a técnica baseado em neurociência ao passo que em neurociência este deve prever comportamento em sistemas neurais reais.

Como destacamos anteriormente, *feedbacks* ou realimentação estão presente predominantemente em modelos de neurociência, algo que aumenta a complexidade matemática dos modelos e custo computacional. Talvez em futuro próximo avancemos a matemática um pouco mais para tornarmos esses modelos mais simples e serem aplicados em inteligência artificial. Feedbacks é uma forma de o nosso sistema resolver principalmente dois problemas: 1) temporal; e 2) espacial. Temporal no sentido de que feedbacks é a forma mais natural de introduzir tempo em redes (Haykin, 1999; Pires, 2012). Espacial no sentido de que é a forma de aumentar conexões entre neurônios – matematicamente isso é equivalente a aumentar o número de neurônios – sem requerer mais espaço físico. Veja que essa solução também é vista em células; temos aproximadamente dois metros de material genético em cada célula, a forma tridimensional com formas como *beta-sheet* e *apha-helix* compacta tudo isso nas dimensões na ordem de micrometros (μm).

Redes neurais é fortemente baseado em biologia, sendo inspirado por teórica tanto da área biológica buscando forma de modelar o cérebro humano quanto teóricos das áreas exatas, procurando problemas desafiadores para testar seu modelos matemáticos. As novas gerações (tendências) apontam para um aumento da proximidade destes modelos ao respectivo modelo em biologia.

Mesmo que não se precisa saber biologia para aplicar, sendo o papel do engenheiro desenvolver novos métodos, esse deve saber ao menos o básico da área. De acordo com Runger e Douglas (2003, p.2, tradução nossa, itálicos e sublinhados nosso), "...engenheiro é alguém, que *resolve problemas do interesse da sociedade* através da *aplicação* eficiente de *princípios científicos*. Engenheiros alcançam isso através de tanto refinando processos já existente quanto <u>*desenvolvendo novos*</u> que procura satisfazer às demandas de algum cliente". Isso confirma o argumento anteriormente exposto.

Devido à natureza expositiva deste artigo, nos limitaremos às discussões feitas. O leitor é convidado a consultar alguma referência mais específicar em caso de interesse.

3. Biomecânica: *biomatemática e biofísica*

Biomecânica pode ser definido como a junção de ciências exatas e biológicas na busca da resolução de problemas práticos. Modelos gerados pela biomecânica vão de modelos matemáticos, sistemas mecânicos, sistemas elétricos, a sistemas computacionais. Biomecânica é multidisciplinar e interdisciplinar por natureza. Humphrey (2003) destaca a limitada definição usada há tempos como simplesmente aplicação de 'mecânica' à biologia; sendo o papel da biomecânica não somente usar modelos das ciências exatas, mas como melhorá-los e criar novos, sendo todos os esforços focados na melhoria da condição humana.

3.1 Locomoção do Caracol: *lomoção de pequenos sistemas*

Muitos ao verem a locomoção de pequenos e lentos animais como caracóis se indagaram da aplicabilidade desde em sistema de engenharia. Em estudo não tão remoto, essa pergunta foi feita e estudada Carlson (1905) e em pesquisas mais recentes, este está sendo desenhado Chan *et al* (2005). Estes sistemas poderiam, por exemplo, suportar profissionais em busca de informações em ambiente onde sistemas comuns não entram, onde um "sim" ou "não" é mais importante e viável do que velocidade.

O que tem intrigado cientista é o movimento sem "pernas"; temos uma "chapa" plana que desliza e ao mesmo tempo "adere" e "deforma" sem perda de forma, somente deslizando em um extrato líquido gerado pelo próprio organismo. Este é desafio para mecânica dos fluídos; recentemente o autor participou de um encontro em "biofluídos", estes estão buscando modelos para modelar biofluídos de vital importância como sangue ou mesmo não tão aparente, como fluídos internos e externos dos olhos humano.

Um entendimento matemático-físico destes sistemas pode abrir novas possibilidades no estudo de doenças; como uma alternativa ou suporte à técnica conhecida como chemotáxica (*chemotaxis*); além de sistemas mecânicos para locomoção em terrenos irregulares.

3.2 Descolamente do Vítreo: *dinâmica de rede*

Em estudos recentes, o autor preocupou-se com um caso biomatemático: distúrbio oftalmológico chamado de Descolamento do Vítreo (*Vitreous Detachment*). O ponto chave está na observação biomatemática de que o globo ocular é preenchido com uma substância em forma de gel chamada de vítreo; este não é um fluído convencional, existem filamentos de colágenos (proteína presente em partes elásticas do corpo humano, como pele) que formam redes, redes de colágenos dado aos fluído certa plasticidade e estabilidade.

O que acontece no descolamento do vítreo é que em algumas pessoas essas redes começam a serem danificadas por motivos variados; o mais comum é associar à idade. Sendo assim, o autor, depois de discussões com cientistas anteriormente trabalhando no problema, decidiu inferir sobre o problema usando simulações numéricas. O mais interessante é que essas redes não são peculiares na natureza. Algo similar ocorre, por exemplo, em redes produzidas pelo aracnídeo conhecido como aranha. Isso gera um "material" isotrópico, ou seja, responde igualmente à estresse vindo de todas as direções. Para o caso, isso é totalmente vantajoso tendo em mente o tipo de estresse que estas devem suportar. No caso dos olhos temos algo similar, simetria.

O leitor interessado pode começar com Pires (2012b) e Repetto *et al* (2011) e suas respectivas referências como ponto de partida.

3.3 Cinesiologia (*kinesiology*) e biomecânica

Em pesquisas do autor, este vem se perguntado da importância de campos como fisiologia em engenharias, especialmente engenharia de produção; note que não é incomum engenheiros de áreas diversas trabalharem em engenharia biomédica.

De acordo com Knudson (2007), biomecânica é uma subárea da cinesiologia (*kinesiology*). Cinesiologia, como defende Knudson (2007), procura entender o movimento do corpo humano de forma a gerar métodos e ideias para evitar danos a essa.

Veja que biomecânica pode ser vista com áreas separadas; como, por exemplo, os casos anteriores. Áreas da engenharia em geral, como ergonomia, procuram desenhar melhores ambientes de trabalho e isso não pode ser feito sem um entendimento de biologia (especialmente anatomia e fisiologia); no entanto, não temos valorização desta em cursos de engenharia em geral.

4. Outros casos: *aprendendo um pouco mais*

Os modelos bioinspirados de forma direta e mesmo indiretas são infinitos, mas alguns estão ganhando mais destaques. Alguns destes estão nesta seção, deixando ao leitor um passo extra se este interessar.

4.1 Computador Molecular

Umas das descobertas mais interessantes e mesmo desafiadores na biologia, algo comparável com a teoria da relatividade na física, foi o DNA e dinâmica. Primeiramente, este é composto de quatro letras que forma a base para o espaço representativo de toda célula; GATC (Guanina, Adenina, Thymine, Citosina). Ainda mais, a forma como esta informação é acessada e usada serve de exemplo para qualquer sistema de armazenamento e recuperação de dados; algo adicional é que o sistema “se auto-repara” usado os seus próprios produtos.

De forma simplística, mas não muito distante da realidade, temos duas fases no processo biológico de extrair informação e produzir: *transcrição* e *tranducção*. No primeiro passo o código é acessado e no segundo a informação é usada. Isso é feito usando ‘cópias’ em vez da matriz; esses são chamados de ARNm (mRNA em inglês). Esses são simples também, mas somente uma letra os difere; Uracil em ARNm em vez de Thymine em DNA. Algo adicional, o DNA é duplo (duas tiras) ao passo que o ARNm é simples (um única tira); observe que há redundância no DNA, podemos reconstruir uma tira usando a outra, as bases não se combinam de forma aleatória. Isso é um sistema mecânico que simplesmente “gera fluxo unidirecional de informação”.

Veja esquema abaixo, figura 1. Então podemos nos pergunta, não seria possível aproveitar essa BIO-engenharia no desenho de novos sistemas de armazenamento e recuperação de dados. Alguns acreditam que sim e pesquisa estão sendo feitas nos chamados computadores moleculares; veja por exemplo Shapiro (2012).

4.2 Computação Natural

Um dos frutos mais prodígios da era da computação são os modelos para resolver problemas baseado em metáforas bioinspiradas; estes eliminam de forma local necessidade de entender as complexidades do cálculo. Este é o ponto de partida da *Computação Natural*.

Todos os modelos estudados pela computação natural são modelos que usam metáfora (princípios e ideias) e resultados observados da natureza. Um exemplo são os algorítmos genéticos que usam princípios da genética; como exemplo alternativo, temos computação evolutiva que usa evolução como ponto de partida, colônia de formigas que usa comportamento dessas na resolução dos chamados problemas combinatórios. Um exemplo que usa fenômenos naturais é conhecimento como *simulating annealing*, este usa a forma como matéria sofre "choque térmico" e "cristaliza"; termodinamicamente aplicada à matéria em transformação. Temos muitos outros exemplos, mas todos de certa forma resolvendo alguns problemas e falhando em outros; sempre se pondera "custo e benefício".

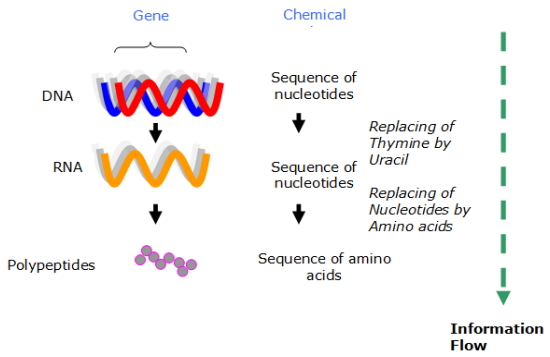

FIGURA 1 – Fluxo de informação no código genético. (*Gene* – Gene; *Chemical* – químicos; *Sequence of nucleotides* – Sequência de nucleotídeos; *Sequence of Amino Acids*- Sequência de Amino Ácidos; *Polypeptides* – Polipeptídios; *Information flow* – fluxo de informação) Fonte: Pires (2012, p.9).

De forma resumida, a computação natural busca o desenho de algorítmos para resolver problemas usando computadores baseando-se em princípios presentes em sistema naturais.

4.3 Sistemas Complexos

Sistemas complexos (*Complex Systems*) é uma área recente que objetiva unificar métodos e metodologias aplicados em campos científicos aparentemente diversos e não-mescláveis, mais com muito em comum Minai e Bar-Yam (2006); como o exemplo que se segue na próxima seção.

Muitos tentam explicar problemas sociais ou mesmo abstratos como "pensamentos", algo evitado por muitos devido à complexidade escondida, usando técnicas já bem aplicadas; como por exemplo poderíamos usar sistemas dinâmicos para estudar interação de pessoas em uma organização e ao mesmo tempo aplicar formas encontradas por sistemas biológicos para resolver "conflito" entre componentes. De certa forma, isso não é novo. Existem estudos em Recursos Humanos (RH) de pessoas que tentaram aplicar a mecânica de Newton a grupo de pessoas, aparentemente não bem sucedido; veja que as limitações da mecânica de Newton hoje são visíveis.

Estudos de métodos vindos da biologia como algoritmos genéticos (otimização) aparecem em estudos de sistemas complexos. Esta é uma área aberta e vale a pena investigações por qualquer engenheiro.

5. Caso Exemplar: *gerência na biologia ou biologia na gerência?*

Algo interessante que desafiou e ainda de certa forma desafia teóricos está no número estimado de genes e a quantidade de "saídas" geradas por esses: temos um número de genes em valor muito menor do que a quantidade massiva de funções e existências em sistemas biológicos.

A resposta atualmente aceita para a questão exposta anteriormente sugere: *administração de recursos*. Isso é feito de forma combinatória: *redes*. De forma geral, temos um sistema hierárquico feito em níveis predominantemente em uma direção; algumas interações locais geram pontos de flexibilidade e estabilidade. Isso foi observado em neurociência que agrupamentos de neurônios no cérebro, atividades locais, geram organização e estabilidade no todo. Aqui analisaremos o problema do ponto de vista do genoma.

Temos um bom exemplo de administração de recursos no código genético. Cada gene controla e é controlado. Alguns possuem a peculiaridade de controlar a se mesmo como forma adicional a controlar outros genes; de forma adicional alguns podem controlar os que os controla. Qual a vantagem deste sistema? A resposta está no seu corpo; desde "solução tampão" no sangue – um pequeno aumento ou queda de pH no sangue pode cominar na morte do indivíduo – a controle de insulina, ou mesmo "felicidade" e "tristeza".

Abaixo, figura 2, temos uma rede do tipo encontrada frequentemente no código genético, chamada de *Network Motifs*. Temos controle em camadas, como uma árvore de posições (nível hierárquico) em uma organização. Esta rede não apresenta, mas temos caso de *autoregulation* no qual um gene controla a se mesmo, ou mesmo, *feedback*, no qual um gene "responde" aos "seus superiores". Esse tipo de hierarquia levou Noble (2006) a propor que o código genético não deve ser visto de forma isolada, como alguns propuseram em metáforas como "selfish genes"; mas sim interagindo entre si e mesmo com o meio ambiente.

De outra forma, além da hierarquia, organizações como escolas ou empresas, não estão separadas da sociedade. Em participação recente do autor em encontro em uma escola estadual, esse notou a negligência deste fato e as consequências; motivo de uma chamada repentina, reunião de "socorro".

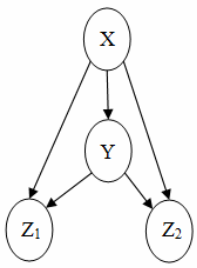

FIGURA 2 – Sistema de controle de produção de proteínas. Temos um "gene mestre" (X) que controla duas "camadas" de genes, sendo a segunda camada de certa forma composta de gene mestre (Y). A camada de saída são os genes que realmente trabalham, as suas proteínas são as únicas que realmente participam de reações químicas e similares; as demais é apenas controle, como papeis dentro das organizações. Fonte: Pires (2012, p.10).

Uma questão comum em estudos de componentes biológicos é chamado de Dilema da Plasticidade-Esbalidade (DPE). Podemos estender a pergunta: *como podemos criar organizações flexíveis às mudanças em volta, mas de forma paralelamente estáveis*? Isso é algo que enfretamos, principalmente no poder público, tendendo mais à "estável".

O mais interessante de mencionar é que muito dos sistemas de controle e administraçao de recursos em ciências exatas estão presente no código genético (coincidência?). Por exemplo, o famoso JIT (*Just In Time*) desenvolvido por empresas

japonesas Coriat (1994) está presente nas chamadas redes funcionais (*network motif)*; toda proteína é composta de basicamente 20 ingredientes (amino ácidos), ou seja, elas são competidoras entre si por recursos escassos. Estariam os japoneses cientes? eles são lideranças em algumas áreas biológicas.

Muitos dos sistemas de controle usado em engenharia de controle e automoção está presente em controle de processos em células; isso levou alguns a usarem esses métodos para modelar redes biológicas, como exemplo Cacace *et al* (2012). Ainda mais, modelos usados em ciências da computação na adiministração de dados como FIFO (*First In First Out*) ou LIFO (*Last In First Out*) está presentes nas redes genéticas como controle de produção de proteínas sobe demandas. Sistema de inteligência artificial como filtros de ruídos está presente em redes de produção de proteína; para não mencionar as redes de proteínas que transmitem e "processam" informação. Sistemas de confiabilidade foram estudados em células por John Hopfield Alon (2006); autor das famosas redes neurais de Hopfield.

Mesmo que tudo isso seja apenas coincidência, vemos como a natureza pode nos ensinar a resolver que levaríamos anos para encontrar a solução, se encontraremos. Não existe nenhuma forma racional de aclamar que ela nos copiou.

6. Conclusão e considerações finais

Discutimos o papel da biologia na geração de conhecimento em engenharias; algo incessantemente posicionado como vital para inclusão de engenheiros nos novos modos de pensar. Tentamos levantar o interesse da comunidade das ciências aplicadas com relação à inclusão de áreas que ensinam o pensamento bioinspirado como algo padrão, não como algo opcional.

Observamos que as maiores revoluções do século passado vieram da quebra de velhos tabus como a noção de 'tempo', 'energia', e 'espaço'. Podemos aceitar com certo grau de incerteza que a biomecânica e demais áreas podem ser mais velhas do que suas versões mais aceitas, como mecânica; Galileo estava preocupado com a forma de ossos, oco para minimizar peso e maximizar força de resistência; outros cientistas se preocuparam com a forma de voar dos pássaros. Tudo isso antes de cientistas como Newton que formalizaram campos como mecânica. Hoje temos uma cresça quase geral de que podemos modelar matéria viva; isso é um grande avanço mesmo se comparado com aproximadamente cinquenta anos atrás; estamos cientes da quantidade expressiva de ruídos ao modelarmos, mas não é impossível.

Usamos duas áreas de interesse do autor para discutir e exemplificar a tese de que engenheiros devem estudar biologia como parte da grade curricular. Usamos redes neurais (inteligência artificial) e biomecânica (biomatemática e biofísica) como exemplos por serem dois campos que passam a ideia e são bem consolidados para propiciar ao leitor a oportunidade de pesquisar. Apresentamos um exemplo da nova área chamada biologia sistêmica. O exemplo apresentado compara gerência de recursos em organizações com o controle no nível de interação entre genes; este é um exemplo preparado especialmente para o artigo, sendo biologia sistêmica não relacionada formalmente com gerência de recursos. Esses são casos peculiares, não únicos. Mais exemplos pode ser estudado, o que ocuparia um livro. Mesmo se os exemplos citados não convencem o leitor, esse é convidado a refletir sobre os problemas ambientais; para ajudar a natureza a se recuperar da intervenção humana devemos primeiramente entendê-la; o que inclui nosso papel nesta, como interagimos.

Como destacado, muito dos problemas atualmente encontrados nas áreas das ciências da vida são relacionado a casos que pedem uso de mecânica, matemática, e engenharias de forma simultânea. Isso requer um conhecimento de biologia tanto para resolver problemas

quanto ponto de inspiração (inspiração aqui deve ser encarada diferentemente da inspiração em arte, apesar de engenharia ser também uma arte).

Na verdade, a observação da natureza na busca de inspiração, mesmo em modelos mecânicos, não é algo novo, mas muitas vezes encarado como um caso particular e de sorte. Isso se agrava com alunos que entram e saem da faculdade com a mentalidade de que "engenharia é engenharia, biologia é biologia". Isso fere de forma direta as novas tendências em muitos países desenvolvendo pesquisas de ponta, pesquisas para os novos horizontes da ciência, da humanidade. A era da vida nunca tão viva, mas mais do que nunca modelável.

Referências

ABDOUNUR, O. J. Matemática e Música: o pensamento analógico na construção de significado. *Coleção Ensaios Transversais*, vol. 3. 3° edition. Escrituras: São Paulo, 2003.

ALON, Uri. *An Introduction to systems biology: design principles of biological circuits.* Chapman & Hall/CRC, 2006.

CARLSON, A. J. The physiology of locomotion in gasteropods. *Physiological Laboratory*: University of Chicago, 1905.

CACACE, F., GERMANI, A., PALUMBO, P., ``*The state observer as a tool for the estimation of gene expression"*, Journal of Mathematical Analysis and Applications, Vol.391, pp.382-396, 2012.

CHAN, B. ; BALMFORTH, N. J.; HOSOI, A. E. Building a better snail: Lubrication and adhesive locomotion. *Physics of fluids* 17. American Institute of Physics: 2005.

CLARK, R. W. Einstein: the life and times. Públicado em acordos com World Publishing Company, 1971.

CORIAT, Benjamin. Pensar pelo avesso: o modelo japonês de trabalho e organização. Editora da UFRJ/Revan. Rio de Janeiro: 1994.

HAYKIN , Simon . *Neural Networks - A Comprehensive Foundation.* Second edition. Pearson Prentice Hall: 1999.

HUMPHREY, J. D. Review paper: continuum biomechanics of soft biological tissues. Proc. R. soc. Lond. A . 459 , 3-46. *Proceedings of the Royal Society*: 2003.

KELLER, E. F. Making sense of life: Explaining biological development with models, metaphors, and machines, Havard University Press, Cambrige, Massachusetts, and London, England, 2003, ISBN: 0-674-01250-X.

KNUDSON, D. Fundaments of biomechanics. Second Edition. Spring: 2007.

NOBLE, D. The music of life. Orford University Press, 2006. ISBN-13: 978–0–19–929573–9.

MINAI, A. ; BAR-YAM, Y. (eds), Unifying themes in complex systems, Volume IIIB, *Proceedings of the third international conference on complex systems*, Springer, ISBN-3-540-35864-1 Springer Berlin Heidelberg New York. Cambridge: Massachusetts, 2006.

PATEL, A. Music and the Mind. *Grey matters: from molecules to mind*. The neuroscience institute. [online]: acessado em 2010.

PIRES, J. G. On the applicability of Computational Intelligence in Transcription Network Modeling. Faculty of Applied Physics and Mathematics. Gdansk University of Technology, Gdansk, Poland, 21th September, 2012a.

PIRES, J. G. Planejamento e desenvolvimento de Novos Produtos: Modelando a dinâmica do Vítreo. Gestão de Produtos: *planejamento do produto*. Symposium of Production Engineering (SIMPEP, UNESP), Bauru: São Paulo, [Online]. access: http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep.php?e=7, ISSN 1809-7189. 2012b.

REPETTO, R. ; TATONE, A. ; TESTA, A. ; COLANGELI, E. *Traction on the retina induced by saccadic eye movements in the presence of posterior vitreous detachment*.. Biomech Model Mechanobiol 10:191–202. DOI 10.1007/s10237-010-0226-6. Springer-Verlag: 2011.

RUNGER, G. C.; M., Douglas C. Applied Statistics and Probability for Engineers. 3rd ed. [CD-ROM]. John Wiley & Sons, Inc: 2003.

SHAPIRO, E. A mechanical Turing Machine: blueprint for a biomolecular computer. Interface Focus 2012 2, 497-503 first published online 21 March 2012. doi: 10.1098/rsfs.2011.0118. [online]. acesso em: **http://rsfs.royalsocietypublishing.org/content/2/4/497.full.html#ref-list-1**, Agosto, 2012.

SHONKWILER, R. W.; Herod, J. Mathematical biology: an introduction with Maple and Matlab. *Undergraduate texts in mathematics*. Second Edition: Spring: 2009.