

Digitalizando o câncer de próstata: interseções entre engenharia e biologia na ciência contemporânea¹

Marko Synésio Alves Monteiro

Pesquisador Pós-doutorando

Science, Technology and Society Program

The University of Texas at Austin

Resumo:

Este trabalho baseia-se numa pesquisa etnográfica feita na cidade de Austin (Texas, EUA) no período entre Novembro de 2006 a Novembro de 2007 com um grupo interdisciplinar de cientistas, engajados na criação de um modelo computacional das interações entre calor e tecidos humanos. O grupo tem como objetivo delinear um novo paradigma para cirurgias de câncer de próstata baseado em previsões do modelo computacional e interconexão entre duas cidades (Houston e Austin) a partir de tecnologias de computação avançada. A análise focará as interações dos cientistas em Austin e os dilemas por eles enfrentados em seu trabalho científico no que diz respeito à “digitalização” de processos biológicos. O objetivo é analisar as formas como engenheiros biomédicos, cientistas da computação e matemáticos trabalham juntos para estabelecer novas representações do corpo biológico em termos matemáticos e computacionais. O trabalho conclui que esse processo de tradução do corpo e suas funções está marcado por incompreensões e dificuldades de traduzir entre a biologia e as engenharias, o que esclarece alguns dos dilemas desse tipo de iniciativa. Tais dilemas tornam-se mais prementes na medida em que a ciência atual em todo o mundo, incluindo o Brasil, investe pesadamente na agregação de tecnologias digitais às práticas da biomedicina.

Palavras-chave:

Modelagem computacional, antropologia da tecnologia, câncer de próstata.

¹ Trabalho apresentado na 26ª Reunião Brasileira de Antropologia, realizada entre os dias 01 e 04 de junho, Porto Seguro, Bahia, Brasil.

1 – Introdução: modelagem computacional e medicina

A ciência contemporânea está rápida mudança a partir da introdução de práticas avançadas de modelagem matemática em diversas áreas, abrangendo física, química, biologia, engenharias, nanotecnologia, entre outras. O modelo de trabalho centrado em grupos interdisciplinares também se impõe cada vez mais, na medida em que alguns problemas não encontram solução em uma ou outra disciplina isoladamente, mas demandam a colaboração de especialistas de diversas áreas. Uma compreensão mais profunda dos obstáculos enfrentados por tais grupos está ainda por ser alcançada, seja pelos próprios cientistas, agências de fomento, administradores e estudiosos de práticas científicas. Particularmente, o papel de práticas de modelagem computacional em práticas científicas interdisciplinares abrangendo a biomedicina, engenharia e computação não foi investigado a fundo no campo de Estudos Sociais da Ciência. Com o crescimento da capacidade dos centros de computação avançada no Brasil e no mundo, e com a multiplicação de projetos de pesquisa que buscam integrar tais capacidades em projetos associados à medicina, torna-se importante a investigação de tais práticas, no que diz respeito aos seus condicionantes sociais, para além dos aspectos técnicos e financeiros.

O objetivo do presente artigo é contribuir para esse debate a partir da análise de um grupo multidisciplinar, objeto de pesquisa etnográfica de Novembro de 2006 a Novembro de 2007. O grupo em questão, situado na cidade de Austin, estado americano do Texas, desenvolve um modelo computacional de transferência de calor em tecidos da próstata. O modelo integrará um novo tipo de protocolo cirúrgico para o câncer de próstata, sendo desenvolvido em parceria com um hospital de pesquisa na cidade de Houston, também no Texas. O objetivo final é integrar as previsões do modelo computacional na prática clínica dos médicos em Houston, que poderiam obter dados referentes ao seu paciente específico a partir da infraestrutura computacional de Austin. Tal integração entre o modelo computacional, os cientistas, os computadores e os médicos sugere novas formas de representar e interferir no corpo humano contemporaneamente que são pouco compreendidas no campo das ciências sociais.

O foco da coleta de dados para este projeto foram as reuniões semanais dos cientistas de Austin, que estão desenvolvendo o modelo computacional a partir de dados colhidos junto ao hospital de pesquisa em Houston. Nessas reuniões os cientistas apresentam resultados de suas pesquisas realizadas em separado (seja em laboratórios com células ou a construção de representações em 3D da próstata, por exemplo), discutem os resultados e buscam alcançar objetivos comuns a partir de suas perspectivas disciplinares distintas. Nessas reuniões é

possível perceber o trabalho de colaboração interdisciplinar em prática, na medida em que pesquisas feitas separadamente são apresentadas e discutidas pelo grupo, orientações comuns são discutidas e objetivos futuros são delineados. Nesse mesmo contexto, muitos dos problemas associados a uma colaboração desse tipo são também detectados nas reuniões, mais especificamente as dificuldades em traduzir a complexidade de aspectos biológicos para uma linguagem computacional e matemática.

Tal tradução é pressuposto para a possibilidade de se efetuar a modelagem computacional de um processo biológico. A investigação a respeito das práticas dos cientistas em seu dia-a-dia esclarece, portanto, dilemas importantes a serem pensados no que diz respeito às tentativas contemporâneas de se automatizar processos de diagnóstico e tratamento na medicina, assim como, de buscar novas representações científicas a respeito do corpo humano a partir da digitalização e da construção de modelos virtuais em três dimensões. Tais modelos são pensados como uma nova fronteira para a produção de conhecimento, assim como para o desenvolvimento de formas mais precisas de intervenção no corpo. Um exemplo desse tipo de iniciativa é o chamado Projeto Humano Visível (*Visible Human Project*), que operou a digitalização de um espécime humano de ambos os sexos para usos diversos, desde o estudo da anatomia até o treinamento de cirurgiões (Waldby, 2000; Adelson, 2006). No caso aqui analisado, a “digitalização” integra a construção de um modelo matemático, visualizações em 2D e 3D, e o feixe de laser usado para a ablação dos tecidos cancerosos no hospital. A busca de visualizar o processo de transferência de calor não se separa, portanto, da tentativa de integrar em uma rede os cientistas em Austin que trabalham com o modelo, os médicos em Houston que produzem as imagens em 3D, os futuros pacientes (e os modelos animais) que sofrem a intervenção através do laser, e os supercomputadores que viabilizam tanto o esforço de modelagem como as velocidades de transferência de dados necessárias para que a estrutura como um todo seja viável na prática.

O presente artigo buscará, nesse sentido, uma interpretação dessas práticas a partir da análise de instâncias de desentendimento entre as áreas biológicas e de engenharia no projeto. A partir de exemplos retirados das reuniões, buscarei analisar de que forma o trabalho de modelagem, que em última instância busca tornar previsíveis e passíveis de manipulação e controle os processos biológicos no corpo humano, enfrenta o desafio de operar essa tradução. A análise baseia-se no trabalho etnográfico e na análise mais detalhada de fitas de vídeo feitas das reuniões.

A atenção às interações entre os cientistas durante as reuniões revela que muitas vezes os objetivos comuns ao grupo não são entendidos de maneira uniforme por todos os seus membros. Além disso, diferenças de formação entre os cientistas tornam-se obstáculos a

serem superados nas reuniões, especialmente no que diz respeito às normas de validade específicas a diferentes disciplinas e na interpretação de representações visuais. O artigo conclui que tais obstáculos referem-se não somente ao trabalho cooperativo interdisciplinar, mas também podem ser lidos como parte fundamental dos problemas que emergem a partir das tentativas atuais de alcançar controle dos processos biológicos a partir de modelos computacionais. Tais dificuldades são relevantes na interpretação, pelas ciências sociais, de projetos científicos de grande porte que buscam tornar possíveis novas formas de intervenção no corpo a partir da criação de conexões entre computadores, cientistas e corpos a serem “redesenhados” (como os pacientes de câncer de próstata).

Pesquisas sobre grupos interdisciplinares (Baird, Moore *et al.*, 2000; Bracken, 2006) vêm trabalhando alguns dos desafios aqui citados, a saber: diferenças de métodos e epistemologias usadas por cada membro dos grupos, formas diferentes de formular o problema pesquisado, e diferentes estilos de comunicação dos cientistas que participam nesses grupos. Tais colaborações são “arriscadas” no sentido de promoverem discussões entre seus participantes a respeito dos estilos de trabalho de cada um, além das premissas de validade científica de cada disciplina (Mccallin, 2006). Nesse artigo busca-se não somente acrescentar a essa literatura sobre colaboração na ciência, mas também propor formas de leitura de novas tecnologias de alteração e aprimoramento do corpo (Lenoir, 2002a; b; 2004; Hogle, 2005) e das práticas de digitalização desse corpo que vão além da idéia de desmaterialização (Waldby, 2000). Leituras etnográficas centradas nas práticas científicas podem assim ajudar a enriquecer nossa compreensão do aspecto “humano”, social e cultural do desenvolvimento de novas ferramentas tecnológicas de diagnóstico e tratamento de doenças, o que contribui para entender as complexas relações entre objetos técnicos, a cultura e nossos corpos.

2 – O campo: colaborando entre computação, engenharia, biologia e medicina

O objeto da pesquisa etnográfica que originou esse artigo é um grupo interdisciplinar de pesquisadores localizados numa instituição de ensino superior do estado do Texas, localizado no sudoeste dos Estados Unidos. O grupo, com base na cidade de Austin, congrega os esforços de modelagem computacional, com base em dados adquiridos num hospital de pesquisa localizado em Houston, a aproximadamente 257 km de Austin. O grupo é composto por professores, pesquisadores de pós-doutorado e alunos de pós-graduação. Suas áreas de especialização incluem ciência da computação, engenharia biomédica e civil, matemática aplicada, mecânica computacional, visualização científica e medicina. Os cientistas representam diversas nacionalidades, incluindo os EUA, Índia, China, Irã, República Tcheca,

Polônia e França. Os cientistas possuem uma formação, em maior ou menor medida, interdisciplinar. O quadro abaixo lista todos os participantes que trabalharam no projeto durante o período da etnografia, situando cada um em termos da sua posição dentro da universidade e suas áreas de especialização, definidas a partir das auto-descrições obtidas por meio de entrevistas. Todos os nomes foram substituídos por pseudônimos para proteger as identidades dos cientistas.

Pseudônimo	Posição na universidade	Áreas de especialização
Dr. Lewis	Investigador Principal (PI) do projeto, professor e diretor do instituto que abriga o mesmo	Matemática, mecânica computacional
Dr. Ken	Professor de Ciência da Computação	Ciência da computação, física, engenharia
Dr. Carl	Professor de visualização científica	Ciência da computação, engenharia elétrica, geometria, topologia, visualização científica
Dr. Louis	Professor, diretor assistente do instituto que abriga o projeto	Matemática computacional, mecânica computacional, engenharia, ciência da computação
Dr. Mark	Professor de engenharia	Engenharia civil, matemática, mecânica computacional
Dr. Joseph	Professor, Diretor do Departamento de Engenharia Biomédica, professor de engenharia	Engenharia mecânica, engenharia biomédica
Dr. Claude	Pesquisador	Engenharia, engenharia aeroespacial
Dr. Chris	Vice-Diretor do Instituto que abriga a pesquisa, coordenador de projetos de pesquisa	Engenharia civil, ciência da computação
Luke	Aluno de doutorado em Matemática Computacional e Aplicada	Matemática computacional e aplicada, ciência da computação, visualização científica
Dr. John	Professor de engenharia mecânica em outra instituição	Mecânica de sólidos, engenharia mecânica, matemática aplicada
Laura	Aluna de doutorado em Engenharia Biomédica	Medicina, engenharia biomédica
Lynn	Aluna de doutorado em Matemática Computacional e Aplicada	Matemática, matemática computacional e aplicada
George	Aluno de doutorado em Engenharia Biomédica	Biologia, engenharia biomédica

Clark	Aluno de doutorado em Ciência da Computação	Ciência da Computação
Ron	Aluno de Mestrado em Matemática	Matemática Computacional e Aplicada, Visualização Científica

Tabela 1: Participantes do projeto e áreas de especialização.

A pesquisa etnográfica que fundamenta esse texto foi feita entre Novembro de 2006 e Novembro de 2007. A pesquisa incluiu observação participante, especialmente das reuniões semanais do grupo de pesquisa, gravação de vídeo nas reuniões e entrevistas com todos os membros da equipe. Trinta e duas reuniões foram observadas nesse período, e dez delas foram gravadas em vídeo para análise posterior². Foram feitas observações também em duas palestras e uma conferência internacional nos quais os cientistas do grupo estavam presentes, porque foram considerados importantes pelo pesquisador líder como sendo de interesse para o projeto. Além disso, duas viagens foram feitas para Houston, para observações pontuais no hospital de pesquisa, e um *workshop* de uma semana nas instalações de computação avançada que servem de apoio ao grupo foi também realizado.

O trabalho do grupo é desenvolvido no campus de Austin. As reuniões acontecem no instituto fundado pelo investigador chefe do grupo. O instituto possui também um laboratório de visualização científica utilizado por alguns participantes e os escritórios dos professores, pesquisadores, e a maior parte dos alunos de pós graduação envolvidos. Experimentos de bancada com células ocorrem no departamento de engenharia biomédica, que fica num outro prédio a alguns metros desse instituto. As reuniões são peças-chave da colaboração interdisciplinar. O trabalho que é feito em separado (seja com células, seja em computadores nos quais o modelo) é calculado e visualizado com base nos dados recebidos do hospital, trazido às reuniões e apresentado ao resto do grupo. Portanto as reuniões constituem o lugar privilegiado para que cada participante se familiarize com o trabalho dos outros, e onde o efetivo trabalho de integração e cooperação ocorre na prática.

O objetivo final do projeto é construir uma “ciber-infraestrutura” (*cyberinfrastructure*), conjugando computadores, transmissão de dados entre as duas cidades, o laser e o modelo computacional. O sistema forneceria previsões do dano causado pelo laser

² Houve a necessidade de negociar as gravações com o pesquisador líder, que impôs a condição de que apenas algumas e não todas as reuniões fossem gravadas. Dentro desse limite, foram privilegiadas reuniões nas quais o modelo estivesse em debate, e reuniões que debatiam resultados de experimentos biológicos e com modelos animais, para se avaliar o diálogo entre computação e biologia. Ainda assim, a amostra de dez vídeos é bastante representativa do tipo de discussão observada durante todo o período pesquisado, em termos dos temas debatidos, as estratégias de comunicação usadas pelos cientistas, e a necessidade de elaborar objetivos comuns entre todos os participantes.

na próstata do paciente em tempo real, durante a cirurgia, como auxílio à tomada de decisão clínica. Tal sistema traria, em tese, benefícios em termos de reduzir danos desnecessários aos tecidos saudáveis, melhores resultados com a ablação do laser, dados personalizados a partir de um modelo que é computado em tempo real, tornando a tomada de decisão por parte do médico mais confiável e precisa.

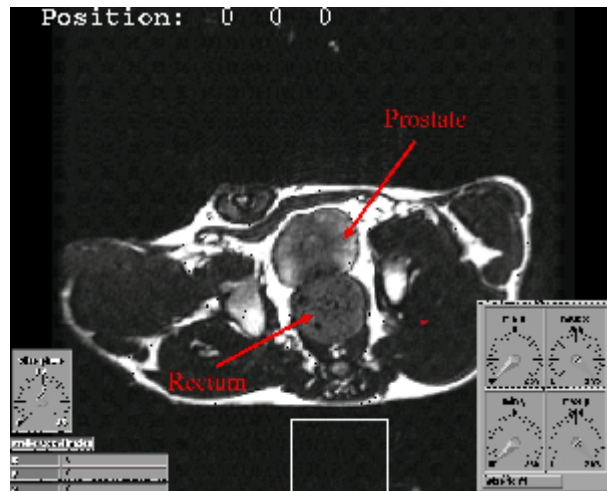


Imagem 1: imagem de ressonância magnética de um cachorro, antes dos experimentos com laser

A tarefa de integrar todos os elementos citados torna-se especialmente complexa devido à natureza dos processos sendo modelados, quais sejam, as transferências de calor nas células. Fatores como a expressão de HSP, ou *heat shock protein* (proteína de choque de calor), que protege a célula da morte celular; o fluxo de sangue na área, que dispersa o calor e pode afetar o resultado do tratamento; as interações entre a luz do laser e as células, que definem a taxa de mortalidade e a energia necessária para causar danos nas células do tumor; as diferenças físicas e biológicas entre células tumorais e normais, entre outras são algumas das variáveis que podem ou não compor o modelo final, a depender da avaliação dos cientistas de como eles interferem na previsão. Os dados brutos fornecidos pelo hospital ao grupo de modelagem são imagens anatômicas de ressonância magnética (MRI) e imagens de temperatura (MRTI) em três dimensões.

Os participantes do grupo possuem formação diferenciada e interdisciplinar, e por isso não compartilham totalmente as suas práticas de visualização científica, as formas de interpretação de dados e imagens, ou até mesmo conceitos e entendimentos do que sejam resultados válidos. Tal diferença torna-se mais marcante quando se comparam dados referentes à biologia com disciplinas como engenharia, computação e matemática, como tratarei à frente. Formas de interpretar imagens são fundamentais nesse projeto, pois em todas

as reuniões os dados discutidos são apresentados em forma de imagens em duas e três dimensões, diagramas, gráficos e tabelas, que são então interpretados pelos participantes no processo de discutir os resultados e buscar entendimentos comuns ao grupo. O que cada imagem significa, a validade das relações apresentadas e a aceitação de um procedimento metodológico como adequado ou não são atividades chave na composição do modelo, na interpretação da sua validade e nos processos de definição de objetivos futuros de curto e longo prazo. As reuniões são descritas por um participante como:

...pessoas aproximando-se, tipo, reunirem-se para discutir questões é importante, pois às vezes muitas dúvidas são resolvidas e as pessoas chegam a um entendimento a cada semana, sobre o que cada pessoa está trabalhando. Isso também cria uma pressão sobre todo mundo para alcançar resultados. Então, isso é bom para o projeto³. (entrevista com Clark).

A idéia de alcançar algum tipo de entendimento comum a cada semana não corresponde exatamente ao que ocorre de fato nas reuniões, como fica claro a partir da etnografia realizada. Ainda que muitas vezes uma compreensão compartilhada parece ser alcançada, é bastante comum que fatos, conceitos e idéias não sejam compreendidos da mesma forma por todos os participantes. Como se expressa um dos alunos de doutorado:

Honestamente? Muitas vezes eu estou lá e estou meio que perdido, por que a matemática que eles usam, eu não tenho uma formação muito sólida em matemática, tendo vindo da biologia. Mas eu, mas tendo escolhido engenharia como doutorado eu sei a utilidade da matemática, então eu tento sentar lá e escutar, e eu tento entender, mas nem sempre tenho sucesso. O que eu os vejo fazendo é muito importante, e eu acho que a qualidade da informação que eles coletam é um passo além, sabe, da (...) biologia qualitativa, e é assim que eu vejo a engenharia em geral⁴. (entrevista com George).

No trecho acima vemos que a discussão acerca do entendimento nas reuniões interdisciplinares passa por algum tipo de compreensão a respeito do valor dessa colaboração.

³ “...people coming close, like, coming together to discuss issues is important, because lots of doubts get solved sometimes and people come on the same page every week, what everyone is working on. Also it kind of puts pressure on everyone to perform. So, that’s good for the project.” Todas as traduções são do autor.

⁴ “To be honest? A lot of times I’m just there and kind of lost, because the math that they use, I don’t have a very strong math background, coming from biology. But I, but having chosen engineering as a PhD I know the usefulness of math, so I try to sit there and listen, and I try to understand, but it’s not always successful. What I see them doing is very important, and I think the quality of their, the information that they gather is a step above, you know, quantitative biology, qualitative biology, and that’s how I see engineering in general.”

No caso desse aluno de doutorado, sua percepção é a de que quantificar a biologia é um passo além do que ele chama de “biologia qualitativa”, que seria meramente descritiva. Essa distinção, que passa também por um julgamento de valor acerca da qualidade da ciência praticada por ambos os “tipos” de ciência, aparece em outras colaborações semelhantes (Monteiro, 2005), e pode ser interpretado como uma das percepções que incentiva projetos de modelagem como esse. A quantificação e digitalização de processos biológicos, pressuposto para a automatização do diagnóstico, seria um passo na direção de uma biologia e uma medicina mais objetivas.

3 – Interpretando etnograficamente práticas de modelagem

Práticas de modelagem computacional em diversas áreas da ciência, incluindo práticas de codificação dentro de disciplinas específicas e as idéias a respeito do que são “dados” e “saber” (textualmente e visualmente representado) vêm se desenvolvendo de acordo com uma história específica. Pesquisas anteriores no campo dos estudos sociais da ciência (Kuhn, 1970; Knorr-Cetina, 1981; Elias, 1982; Latour e Woolgar, 1986; Pickering, 1992; Rheinberger, 1992a; b) têm argumentado a favor da ciência como prática inerentemente social e inseparável do contexto cultural, filosófico, institucional e histórico no qual se insere. Além disso, idéias de objetividade são constituídas social e historicamente (Daston e Galison, 1990), especialmente no que se refere às formas pelas quais a verdade científica é representada visualmente (Knorr-Cetina e Amman, 1990). Uma compreensão das práticas científicas não pode, assim, eximir-se de investigar a prática de produção de representações (Lynch e Woolgar, 1990b), “inscrições” que buscam retratar as relações internas ao objeto estudado, as quais operam a possibilidade do saber fazer-se circular de forma estável e amplamente reproduzível (Latour, 1990). A análise de representações visuais, por outro lado, não se separa das práticas de produção do conhecimento científico, e são melhor compreendidas como partes integrantes desse processo de tornar o conhecimento sobre a natureza visível nas suas propriedades essenciais, “revelando” visualmente a sua ordem interna (Lynch e Woolgar, 1990a; Lynch, 2006; Pauwels, 2006).

Nesse estudo em particular, as práticas de produção de representações digitais do real transcendem as características visuais do modelo em 3D, no entanto. Busca-se ali revelar em termos visuais e computacionais as propriedades internas do objeto, como forma de reiterar a objetividade mecânica das imagens visuais de ressonância magnética e do próprio modelo digital (Daston e Galison, 1990), a fim de construir uma ferramenta de intervenção na realidade observada ou descrita: os tecidos da próstata. As representações computacionais em

3D, dessa forma, são objetos virtuais que representam uma forma de conhecimento científico das relações entre o calor e os tecidos; além disso, representam objetos interativos cujas propriedades busca-se manipular como parte da prática cotidiana de pesquisa. Busca-se também manipular, de forma associada, os processos biológicos representados pelas imagens, através da abrasão com o laser.

As imagens em 3D são interativas em vários níveis, portanto: primeiramente, no nível das práticas de produção do conhecimento, pois durante as reuniões manipulam-se as imagens para apresentar resultados, responder a perguntas, ou tornar mais claras as características representadas pelo objeto virtual. Num segundo nível, a interatividade ocorre entre Houston e Austin, integrando o modelo computacional à clínica, às previsões do computador e às decisões do cirurgião, através de redes de transmissão de dados e dos conhecimentos que embasam o modelo e garantem a sua objetividade.

Antropólogos que estudaram práticas de simulação e modelagem a partir da perspectiva etnográfica têm mostrado a importância de se atentar para as interações entre pesquisadores e no seu papel, em termos de definir o resultado final de tais pesquisas (Helmreich, 1998; Forsythe, 2001), compondo práticas de produção de conhecimento que são eminentemente sociais. Entender o contexto social no qual a pesquisa científica é conduzida é primordial para o entendimento de tecnologias de modelagem de (e nesse caso, também intervenção em) processos biológicos, em termos digitais ou computacionais (Helmreich, 1998). Tal postura esclarece os limites e obstáculos presentes nas práticas de tradução para códigos digitais de atividades como diagnóstico e a automação de interações entre médicos e pacientes, o papel de processos culturais no desenvolvimento de sistemas de informação para a saúde e a influência das epistemologias dos cientistas que os constroem no produto final (Forsythe, 1993; 1998; 2001).

Computadores vêm sendo utilizados em pesquisas científicas desde pelo menos os anos 1950 (Francoeur e Segal, 2004), mas modelagem computacional e o uso de previsões a partir desses modelos só recentemente vêm sendo incorporados às cirurgias e procedimentos médicos (Lenoir, 2004). Isso está associado a uma mudança de paradigma a respeito do papel da engenharia e dos computadores nas práticas médicas contemporâneas. De acordo com os cientistas entrevistados nesse estudo, a medicina atual se desloca de uma prática de diagnóstico e cuidado para algo “mais próximo da engenharia” (entrevista com Dr. Lewis), a partir do uso crescente de tecnologias digitais e computacionais (Forsythe, 1998; 2001). O apoio dado por agências de fomento norte americanas a pesquisas baseadas no conceito de “ciber-infraestruturas”, que integram capacidade computacional avançada (supercomputadores) com equipes interdisciplinares para capacitar a pesquisa de questões

antes pensadas como impossíveis(Bement Jr., 2007), a exemplo da modelagem precisa de processos biológicos, é em si mesmo um fenômeno a ser melhor investigado por cientistas sociais. O avanço desse tipo de conceito de pesquisa integrado ao desenvolvimento de novas ferramentas de intervenção no corpo e na natureza cria um contexto no qual instituições de pesquisa competem por fundos e buscam fazer uso de ciber-infraestruturas em suas diversas áreas de atuação.

O uso de tais ferramentas relaciona-se também com idéias historicamente estabelecidas a respeito da objetividade de dados resultantes de pesquisas. Desde o século XIX, com a criação de tecnologias de imagem mecânicas (fotografia, raios X, cinema), há um reforço da noção de que imagens produzidas mecanicamente possuem uma vantagem no que diz respeito à proximidade com a realidade. A centralidade de imagens objetivas, livres da interferência da subjetividade daqueles que a produzem, torna-se crucial para a busca de diagnósticos de imagem, que transferem autoridade do médico para equipamentos que automatizam a construção de representações do corpo(Daston e Galiston, 1990). Pesquisas etnográficas e históricas, no entanto, revelam que essa objetividade não emerge diretamente do uso de equipamentos, mas é a consumação de um complexo processo colaborativo que envolve tentativa e erro, que busca coordenar resultados numéricos com a experiência acumulada de especialistas e com a intuição a respeito do que é razoável fisicamente ou não (Pasveer, 2006). Esses diferentes saberes encontram-se de forma complexa nas reuniões, e as discussões em torno do que se pode inferir a partir dos dados estabelece de fato a verdade das imagens em questão. Esse debate torna-se especialmente importante quando se trata de projetos de modelagem nos quais há a necessidade de se definir se o modelo corresponde ao real ou não.

Modelos científicos detêm, sejam eles digitais, em madeira, metal ou em cera, uma medida de “encantamento” (Baker, 2004; Hopwood, 2004), associado não somente às suas características de representar as relações internas a um objeto, mas à forma pela qual tal verdade é apresentada ao público, aos cientistas e a benfeitores. Simulações operam uma materialização das relações internas ao objeto denotando a possibilidade do controle das mesmas, e mostrando-as de forma interrelacionada e complexa. No caso de simulações relacionadas ao corpo, cria-se a ilusão momentânea de acesso irrestrito não somente a uma verdade outrora invisível, como no caso de imagens de raios-X ou de ressonância magnética, mas da possibilidade de controle das características mais básicas, a partir de uma antecipação do futuro por meio de previsões (entrevista com Dr. Lewis). Enquanto na prática médica estudos mostram que o saber instituído pelo modelo somente materializa-se por completo quando do ato da cirurgia ela mesma (Prentice, 2005), no estudo em questão aqui se trata de

uma tentativa de definir quais saberes matemáticos correspondem à realidade biológica do corpo, a fim de orientar futuramente intervenções cirúrgicas.

A objetividade do modelo sendo construído pelo grupo aqui analisado não é restrita à correspondência entre traços presentes nas imagens e partes do corpo, mas deve ser estabelecida em termos de processos biológicos cujos resultados tenta-se antecipar. Tal correspondência só pode ser testada a partir de traços produzidos pelos equipamentos (curvas que indicam morte de células, ou energia do laser) com os traços produzidos pelo modelo a partir dos parâmetros desenvolvidos pelo cientista. O trabalho interpretativo integra portanto gráficos e imagens analisadas nas reuniões, desenvolvimento de objetos virtuais em 3D que devem corresponder às partes do corpo (por exemplo, a próstata), e a definição dos parâmetros que devem integrar o modelo a ser construído.

4 – Digitalizando na prática

O trabalho de construir um modelo computacional é complexo, envolve profissionais de diversas disciplinas e, pelo menos no caso aqui discutido, depende de uma colaboração estreita entre engenheiros, cientistas de computação e matemáticos com biólogos e médicos. O objetivo do grupo é alcançar não apenas um modelo matematicamente válido, mas que seja praticamente viável em termos de uma intervenção cirúrgica, e que seja validado em termos biológicos. Trata-se portanto de uma operação mais complexa do que tornar o corpo visível, mas que inclui também torná-lo passível de manipulação via ferramentas computacionais. A digitalização acontece aqui, nesse sentido, em termos de uma tradução de um processo biológico (transferência de calor nas células) em termos de um modelo matemático. Na prática, envolve as decisões dos cientistas em seu trabalho colaborativo, incluindo análise de imagens, desenvolvimento de fórmulas e validação dos resultados quando comparados a experimentos.

O trabalho dos engenheiros, matemáticos e cientistas da computação revela a riqueza de formas pelas quais o modelo ganha corpo e sentido no trabalho cotidiano dos cientistas. Ainda que a precisão matemática seja a principal ferramenta comum entre os diversos pesquisadores, os aspectos visuais do trabalho tornam-se aqui especialmente relevantes devido à natureza dos dados com os quais eles precisam trabalhar. Estes são enviados do hospital para o grupo em forma de imagens de ressonância magnética, que contém a geometria da área de interesse, e imagens MRTI, que descrevem as variações de temperatura do objeto de interesse. O grupo trabalhou tanto com modelos inanimados (um pote de gel contendo uma próstata canina em seu interior; ver imagem 2) quanto com modelos animais

(um cão usado para testar o processo; ver imagem 1). Além dessas imagens, trabalhou-se com gráficos de diversas naturezas (2D, 3D) e com visualizações de fórmulas matemáticas. Processos como o de registro das imagens foram também descritos visualmente. O trabalho de interpretar imagens é, portanto, central em todas as práticas cotidianas do grupo, perpassando desde as mais básicas apresentações de dados até o caráter “visual” do modelo final pretendido pelo grupo.

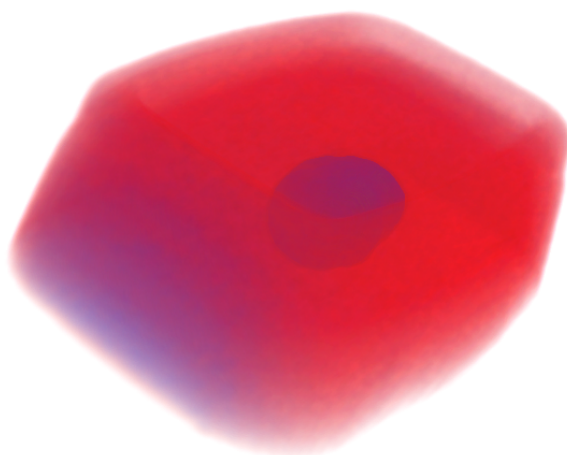


Imagem 2: Objeto virtual em 3D representando um pote de gel contendo uma próstata canina em seu interior. Esse modelo foi usado nos primeiros testes com o laser.

As formas de interpretar dados apresentados visualmente passam, entre outras estratégias, pelo que os próprios cientistas chamam de “norma do olho” (*eyeball norm*). Ou seja, essa norma descreve uma das estratégias de interpretação de gráficos e visualizações que depende de certa intuição do cientista para definir, por exemplo, se a curva descrita representa um processo físico ou se contém erros, ou se a visualização em 3D está construída corretamente ou precisa de ajustes, ou se o processo de aquecimento está representado adequadamente ou se contém artefatos dos equipamentos de captação. A busca de artefatos, ou dados falsos que derivam não do processo físico de interesse mas do próprio processo de captação de uma imagem (por exemplo, o calor no interior da próstata medido por ressonância magnética), e de erro (*noise*) nas imagens é um problema constante, por afetar a objetividade da imagem em questão. As imagens digitais, assim, não descrevem ou traduzem os fatos biológicos em si mesmas, mas dependem de um complexo trabalho colaborativo de interpretação e definição da sua realidade e correspondência com o real.

Um dos cientistas descreve a norma do olho da seguinte maneira:

Então, se as duas imagens são correspondentes uma à outra, como você diz que uma corresponde à outra? Ou, elas não correspondem exatamente de fato, mas só de forma aproximada. Bom, como se mede cada uma, então a gente precisa de uma norma dessa medida, você sabe, para que a gente consiga dizer que isso corresponde melhor do que antes, por exemplo. (...) Então existem normas diferentes, uma é apenas subtrair, isso é um tipo de norma. Uma é um tipo de norma de quadrados, existem coisas desse tipo. Então a norma do olho é um tipo de norma que, você diz a partir do olho se está boa ou ruim. (entrevista com Clark) ⁵

4.1 – Intuição vs. objetividade

A norma do olho é um exemplo do tipo de prática de conhecimento que os próprios cientistas definem como “subjetiva” ou “intuitiva”. Tal forma de compreender o real, segundo eles, é mais presente na biologia do que na matemática ou engenharia, especialmente no contexto da colaboração em que estão engajados. Todo o sentido dessa colaboração está em automatizar, tornar previsível e calculável, pela via da matemática, processos que em termos biológicos são descritos de forma complexa e “intuitiva”. Ou seja, no centro da colaboração, que busca construir uma descrição matemática de um processo biológico, está colocada certa contradição entre biologia e matemática/engenharia: enquanto a primeira é tida como mais intuitiva e descritiva, as últimas seriam de fato objetivas, alcançando a redução da complexidade empírica em termos matemáticos mais simples. Toda a lógica da nova cirurgia depende desse entendimento. Afinal, confiar que um modelo matemático pode reduzir erros e informar melhor o médico no ato cirúrgico significa aceitar a idéia de que a descrição matemática dos processos de interesse alcança um nível de objetividade impossível pelo olho treinado ou pela descrição biológica.

A idéia de que tais processos possam ser modelados, portanto, depende também do entendimento que as fórmulas matemáticas conseguiriam alcançar uma descrição reduzida da biologia, explicando a sua complexidade em termos de suas relações fundamentais com elementos mais simples (as fórmulas matemáticas). A prova de que tal objetividade foi alcançada é exatamente o processo de validação, através do qual se comprova que os

⁵ “So, if the two images are matching, then how do you say that they are matching? Or, they are not exactly matching actually, they are approximately matching. Now, how do we measure which one, so we should have a norm of the measurement, you know, so that we can say that this is matching better than the last time, let’s say. (...) So there are different norms, one is just subtract, this is one kind of norm. One is a kind of least squares norm, they have things like that. So eyeball norm is a kind of a norm that’s you just say from your eye it’s good or bad.”

resultados descritos pelo modelo correspondem, através da análise de gráficos e imagens, aos resultados experimentais obtidos em diversas modalidades (experimentos com células, experimentos com animais). Não se trata aqui de argumentar contra ou a favor dessa possibilidade de modelagem, mas de buscar chegar à lógica de sentido que orienta desde as decisões de financiar tais projetos, até às formas pelas quais os cientistas discutem seus resultados e orientam suas práticas no interior do laboratório. Ainda que tais práticas estejam calcadas nessa aparente contradição entre biologia e matemática/engenharia, o projeto busca construir uma ponte entre esses dois âmbitos, que só se torna possível a partir das novas ferramentas computacionais disponíveis aos cientistas, e ao impulso socialmente contextualizado de buscar uma medicina mais tecnológica.

A aparente contradição entre biologia e matemática/engenharia fica evidente em diversos momentos da etnografia. No trecho que segue, um entrevistado descreve a sua trajetória como pesquisador de biólogo para engenheiro como um movimento da intuição para a subjetividade:

Antropólogo: Então você se pensa mais como engenheiro ou como biólogo?

George: (risos) Considero que estou em transição!

Antropólogo: Transição de onde para onde?

George: Da biologia para a engenharia. Eu sou muito grato pela minha formação em biologia, por que eu sei que muita gente não tem essa compreensão qualitativa, intuitiva de algumas coisas, como eu tenho, e eu também estou aprendendo muito a apreciar o fato de não depender da intuição o tempo todo. Por que quando você depende da intuição, há uma grande probabilidade de que você esteja errado. Quando você segue as regras, então, você sabe, números não mentem, isso é o que está acontecendo. (entrevista com George) ⁶.

George vê uma diferença fundamental entre biologia e engenharia: uma seria mais objetiva, enquanto a outra dependeria da intuição. Para ele, essas características o levam a pensar que a engenharia é mais objetiva, e oferece melhores respostas ao cientista do que a

⁶ “Anthropologist: So do you see yourself more engineer or more biologist?

George: (laughs) I see myself in transition!

Anthropologist: Transition from what to what?

George: From biology to engineering. I’m thankful for my biology background, because I realize a lot of people don’t have the qualitative, intuitive type of understanding of certain things, as I do, and uh, but I’m also learning very much to appreciate not relying on intuition all the time. Because when you rely on intuition, there’s big probabilities that you’re wrong. When you go by the book, then, you know, the numbers don’t lie, this is what’s happening.”

biologia. Ainda que ele se diga “grato” pela sua formação como biólogo, é na engenharia que ele percebe que está a “verdade”, afinal, como ele mesmo coloca, “números não mentem”. Essa contradição entre biologia e engenharia/matemática foi expressa por diversos membros do grupo, mas com conotações bastante diferentes. Se George vê na biologia certa dificuldade em se alcançar o máximo de objetividade, para Lynn⁷ é no processo de tradução para termos matemáticos que a objetividade se perde:

Lynn: (...) Ok, então, o Dr. Lewis na verdade não estudou biologia, mas ele tem somente o olho de um matemático, ou, quero dizer, algo assim não é, então quando estamos olhando para a biologia, é como se eu tivesse a mente biológica mas não estou olhando, eu não estou de fato olhando para isso com os olhos da matemática, por que eu estou tipo, vendo todas as complexidades e tipo, “não, mas isso precisa interagir com aquilo”, e tudo mais, e depois, tipo, para compreender o nível celular, mas num nível macroscópico, você precisa descontextualizá-lo, e de alguma forma homogeneizar as coisas e para mim isso é... um pouco difícil de fazer, para mim.

Antropólogo: Pois é, eu percebo pelas suas perguntas [durante as reuniões] às vezes, você questiona algumas das premissas, tipo, você sabe, “uma placa de tecido”, ou... “então você está pressupondo que isso é homogêneo”. Você deixa isso bem claro, eu acho.

Lynn: Sim. Então, tipo, quando você assume que uma placa de tecido é homogênea, quer dizer, isso é tipo assim “nossa”! (risos) por que, numa placa de tecido você tem tipo, quero dizer, vários tipos diferentes de células. Então, quer dizer, colocando-as em somente duas categorias amplas, você teria células estromais, e células perenquimais. E as células perenquimais são as efetivamente funcionais no tecido, e as estromais são as que seguram todo mundo junto, esse tipo de coisa. Então, quer dizer, só nessas duas categorias amplas, você tem coisas fazendo algo drasticamente diferente. Elas têm funções diferentes, elas teriam reações diferentes a coisas diferentes, então sim, se você olha para uma placa de tecido e a

⁷ A comparação entre a postura de Lynn e de George sugere uma diferença de postura ligada ao gênero, seguindo pesquisas nesse âmbito as quais demonstram que atitudes relativas à objetividade são também perpassadas por diferenciações de gênero (Bordo, 1986). Ainda que esse caso sugira uma possível confirmação de tais pesquisas, não se pode generalizar com base nos dados recolhidos nessa pesquisa em particular. Além do pouco número de mulheres atuantes no grupo, limitando uma análise comparativa, nota-se que os cientistas evitam ao máximo falar em termos de gênero, como parte da boa educação profissional no contexto norte-americano, marcado por políticas da diferença e pelo impacto do feminismo.

considera homogênea, sim, é um pressuposto muito grande! (risos)⁸
(entrevista com Lynn).

Lynn critica aqui a simplificação operada pela tradução em termos matemáticos da complexidade de comportamentos das células em questão durante o projeto. A referência a “placa de tecido” é feita numa das reuniões na qual um dos cientistas, ao referir-se aos pressupostos da sua fórmula, refere-se ao tecido e suas diferentes partes (músculo, gordura, etc.) dessa forma. Ou seja, nos debates acerca do modelo matemático, simplificações são feitas para que os cálculos sejam de uma complexidade manejável pelos equipamentos disponíveis. A idéia é buscar modelar comportamentos simplificados, para depois partir para a incorporação de mais variáveis (por exemplo, os diferentes tipos de células e seus comportamentos) no modelo. Para além das resistências que alguns membros como Lynn demonstram a validade de tais simplificações, o interessante aqui é perceber a postura de Lynn para com a distinção entre o que ela chama de “olhar biológico” e “olhar matemático”.

Lynn, que possui formação na matemática, deixou claro nas entrevistas seu interesse pela investigação de fenômenos biológicos a partir de métodos matemáticos. Apesar da sua formação, ela explicitou que se sente mais próxima de uma abordagem biológica, que segundo ela não exclui das explicações a complexidade de relações entre as células. Sua contribuição para o projeto, além de pensar aspectos teóricos da modelagem da interação do laser com tecidos, foi a de apresentar ao grupo a bibliografia existente em termos de modelagem matemática de processos biológicos. Quando perguntada nas entrevistas sobre o possível “casamento” (nos termos dela) entre biologia e matemática, foco do projeto e objeto de interesse pessoal seu, Lynn revela que vê dificuldades na empreitada, especialmente no contexto desse projeto. Segundo ela, a abordagem realizada pelo grupo, como a de por

-
- Lynn: “(...) Ok, so, Dr. Lewis really hasn’t studied biology, but he only has the eye of a mathematician, or, I mean, whatever right, so then when we’re looking at biology, it’s like I have the biology mind but not looking at, I’m still not really looking at it with the eyes of math, because I’m just like, seeing all the complexities and like “no, but this has to interact with that,” and everything, and then, it’s like, to deal with the cellular level, but at a macroscopic level, you have to pull it out, and somehow homogenize stuff and to me its... still a little hard to do that, for me.
- Anthropologist: Yeah, I notice from your questions sometimes, you question some of the assumptions, like... you know, “the slab of tissue,” or... “So you’re assuming that this is just homogeneous.” You make that very clear, it seems.
- Lynn: Yeah. So, it’s like, when you assume that a slab of tissue is homogeneous, I mean, that’s like “u-o-u!” (laughs) because, in the slab of tissue you have like just up to, I mean, just different number of kinds of cells. So, I mean, just to put them in two broad categories, you would have stromal cells, and parenchymal cells. And the parenchymal cells are the ones that actually do the function of the tissue, and then the stromal cells are the ones that are sort of holding everybody together, and that sort of thing. So, I mean, just in those two broad categories, you have things that are doing drastically different things. They have different functions, they would have different reactions to different things, so, yeah, when you look at a slab of tissue and call it homogenous, yeah, that is a huge assumption (laughs)!”

exemplo simplificar demasiadamente a composição dos tecidos para tornar a modelagem mais prática, subverte o sentido de se buscar uma integração entre biologia e matemática. Para ela o projeto lida muito mais com modelagem e cálculos do que com os aspectos biológicos propriamente ditos.

O dilema em se traduzir da biologia para a engenharia/computação aparece de forma clara também durante as discussões que ocorrem nas reuniões. No trecho que segue, vemos um dos cientistas, Louis, fazendo perguntas a Laura, uma aluna de doutorado em engenharia biomédica e com formação em medicina. Laura apresenta aqui resultados de seus experimentos com culturas de células de próstata humanas, as quais foram submetidas a tratamentos de calor, para avaliar a taxa de mortalidade em relação à temperatura e ao tempo de exposição. Ela mostra os resultados a partir de dados obtidos por um citômetro de fluxo⁹, na forma de um histograma (*dot plot*), que é objeto de grande parte das perguntas por parte dos outros cientistas. A forma de apresentação dos resultados (ver imagem 3), apesar de ser considerada padrão (segundo Laura) para a quantificação de células vivas e mortas, não é uma forma de interpretação comum no meio computacional.



Imagem 3: Laura apresenta os dados obtidos por citometria de fluxo

Nessa reunião em específico, fica clara essa falta de familiaridade dos outros cientistas com essa forma de apresentação de dados, a partir da dinâmica das perguntas e dos debates causados pelos resultados apresentados. Grande parte do tempo dessa reunião foi usado para a discussão de questões referentes ao método de obtenção dos dados, e às características físicas do equipamento utilizado. Ausente do debate ficaram os resultados em si mesmos e o seu

⁹ **Citometria de fluxo** é uma técnica usada para contar, examinar e classificar partículas microscópicas suspensas em meio líquido em fluxo. Ela permite simultâneos multiparâmetros de análises das características físicas e/ou químicas de uma simples célula circulando através de aparelho com detecção óptica e/ou eletrônica. (fonte: Wikipedia)

significado com relação ao projeto final. Os cientistas pareciam mais preocupados em compreender exatamente como os dados foram obtidos, se eram objetivos e confiáveis, do que em discutir os dados em si mesmos a partir da premissa de que o equipamento é uma forma automatizada e confiável de contar células. Questionou-se desde o significado dos pontos apresentados na imagem, até a física por trás da forma pela qual os dados foram obtidos.

Louis: Então qual o significado de um ponto individual [no histograma]?

Laura: Cada ponto individual representa um evento. Então, uma partícula que está atravessando a máquina. A máquina é capaz de contar cada (?) partícula com 0.2 microns até 150 microns (?).

Louis: Então, quando um desses pontos tem essas duas coordenadas diferentes, o que isso significa na verdade?

Laura: Então, quando a célula atravessa a máquina nós vamos observar a dispersão na linha do feixe de luz (*forward scattering*), perpendicular ao feixe (*sideways scattering*), dados do filtro 1 ao filtro 4.

Louis: E para um evento individual, uma célula individual atravessando a máquina, como se define essa dispersão na linha do feixe de luz?

Laura: Dispersão na linha do feixe, como se define isso?

Louis: Sim.

Laura: Então a luz é emitida e (?) um pouco dela se perde sem ser refletida em nenhum, em lugar nenhum, e parte dela é refletida. E eles, os detectores que estão ali contam o número de fótons que são refletidos de fato.

Louis: Então é o número de fótons, ok.

Laura: Número de fótons.

Louis: (?) Entendi.¹⁰ (reunião do dia 19/04/2007)

¹⁰ “Louis : So what does a single dot represent?

Laura: Each single dots represent one event. So one particle that is going through the machine. The machine is capable of uh, counting particle uh, with uh .2 micron to 150 micron. (?)

Louis: So, so when one of those dots has those two different coordinates, what does it mean really.

Laura: So, when the uh, cell is going through the machine, we are going to look at forward scattering, sideways scattering, filter 1 data, to filter 4.

Louis: And for a single event, a single cell going, to the machine, how do we define that forward scattering?

Laura: Forward scattering, how do we define it?

Louis: Yes.

Laura: Oh, uh so the light is emitted and (?) some of it just, goes without being deflected at any, at a-at all, and some of them are deflected. And they, the detectors that are, uh placed here counts the number of photons that are actually deflected.

Louis: So is the number of photons, ok.

Laura: Number of photons.

Louis: (?) I understand.”

No trecho acima vemos uma pequena parte de uma longa sequência de perguntas e respostas na qual Louis, um professor especialista em visualização científica e engenharia, busca entender exatamente o que está sendo mostrado pelo histograma, equipamento que ele demonstrou não conhecer a fundo. A intenção de Laura, com quem conversei depois da apresentação, era a de apresentar os resultados dos experimentos com células, discutindo o número de células que morreram com relação às variáveis calor e tempo de aquecimento. Ela me disse que se caso estivesse apresentado os resultados para biólogos, ou pessoas familiares com esses métodos de contagem, as perguntas seriam totalmente diferentes. Os cientistas do grupo, em sua maioria engenheiros e matemáticos, preocuparam-se menos em interpretar os resultados do que em estabelecer a exatidão com que o instrumento faz a contagem das células. Para isso, queriam saber exatamente os processos físicos pelos quais o instrumento faz essa contagem, e se essa seria a melhor maneira de calcular os resultados. A exatidão em termos de cálculo não era uma preocupação premente para Laura, que ao nomear cada ponto como célula viva, célula morta ou fragmento de célula (as três categorias que ela usa durante a reunião) faz uma interpretação da imagem em termos de onde cada ponto está localizado, confiando no histograma como forma objetiva de contagem. Para Laura, o método usual de interpretar cada ponto e nomear regiões, e a tolerância para erro precisa ser bem maior devido à dificuldade em estabelecer com exatidão completa quando o instrumento detecta fragmentos de célula ou células mortas, por exemplo.

Nessa mesma reunião, um outro participante sugere que a análise deve incorporar uma quarta categoria, a fim de ganhar em objetividade: desconhecido. Ao sugerir essa nova forma de analisar os dados, o cientista ao mesmo tempo demonstra que considera a forma tradicional de categorizar os pontos no histograma como talvez sendo menos objetiva do que seria sem a suposta quarta categoria, ainda que ele admita que não é especialista na área. Sugere também estar preocupado com questões mais familiares à matemática, quais sejam, a de estabelecer com rigor cada variável numa fórmula:

Carl: Não estou falando da sua análise, estou falando do quão sensíveis são cada um desses pontos.

Laura: Sim.

Carl: Que, se você tem um valor negativo, no seu IO PRO e no seu marcador PI quão próximo está isso de ser positivo, você está, qual é a incerteza disso?

Laura: Então, geralmente o que se faz na literatura, o que quase todos, não todos mas a maioria das pessoas fazem é desenhar uma linha, como o que eu fiz ali, eles fazem uma região. Eles marcam uma região e dizem: qualquer coisa além disso é positivo, qualquer coisa abaixo disso é negativo. Isso é o que as pessoas fazem geralmente. Mas

existem softwares que fazem agrupamento e análise de agrupamento nesses dados e eu estou planejando usar um desses programas. Ao invés de simplesmente marcar uma região. Mas sim, existe alguma incerteza associada a cada análise de dados. Nós tentamos...

Carl: Para alguém que vem de fora dessa área, quer dizer, meu pressuposto seria de que você não pode separar os dados nessas categorias, com base nos valores. Você precisaria ter uma categoria chamada de incerto, “eu não posso decidir”. Então nisso, o que eu estou entendendo é que todos os dados são separados em termos de células vivas, células mortas e células em apoptose. Eu acho que deveria haver uma quarta categoria: desconhecido¹¹. (reunião de 19/04/2007)

A intenção, expressa por Laura, de buscar uma maior automatização da interpretação dos resultados do histograma, quando ela menciona o uso de *software* que interpreta as regiões como método melhor do que uma interpretação por parte do cientista, confirma que mesmo entre cientistas da área biológica a percepção de que automatização implica em maior objetividade é importante na condução de seu trabalho cotidiano de produção do saber.

4.2 – Matemática como língua franca

As engenharias e a matemática são associadas pelo grupo à objetividade e ao rigor metodológico, enquanto que a biologia estaria associada a um tipo de pensamento intuitivo e mais subjetivo. Tal distinção, no entanto, não corresponde às práticas reais dos próprios cientistas, que muitas vezes precisam fazer uso de “intuição” mesmo quando estão tratando de números, fórmulas e cálculos. Numa das reuniões vemos o investigador principal explicando para uma aluna de doutorado o que ele considera ser o papel da intuição:

Lewis: Você sabe, dizem que a matemática é intuitiva também. Mas na verdade ela não é. Antes da intuição você tem que ter a precisão.

¹¹ “Carl: I’m not talking about your analysis, I’m talking about how sensitive are each of these data points.

Laura: Yeah.

Carl: That, if you get a negative value, in your, in your io pro and your PI marker how close is that to being positive, are you at, what is the, uncertainty, in that?

Laura: So usually what is done in literature, what almost, all, not everybody but a majority of people do is they just draw a line, like what I did there, they just make a region. They mark a region and say, anything beyond this is positive, anything below this is negative. That’s what usually people do. But, there are softwares that do, clustering, cluster analysis on these datas, and, I’m planning to use hopefully one of those softwares. As opposed to just marking some region. But yes, there is some uncertainty associated with each data analysis. We try...

Carl: For a person who is coming outside this field, I mean, I would assume that you cannot partition the data, into these categories based on values. You must have a category which is called uncertain, I cannot decide. So in this, what I’m hearing is that, all of the data gets partitioned into either a live cell, a dead cell or an apoptotic cell. And I think there should be a fourth category: undecidable.”

Lynn: Eu pensava que a física era intuição.

Lewis. Num certo nível, num certo nível é intuição.

Lynn: Eu pensava que a física era intuição.

Lewis: (...) Matemática é também¹². (reunião do dia 22/02/2007).

O interessante é que, quando associam matemática à intuição, os cientistas percebem essa intuição como derivada de um conhecimento matemático de alto nível. Ou seja, mesmo quando é intuitiva, a matemática é mais objetiva, pois essas aparentes intuições são na verdade fruto de um conhecimento profundo das relações internas que regulam o fenômeno em questão. Portanto, a experiência do cientista com explicações matemáticas dar-lhe-ia a capacidade de intuir, antes de a fórmula ser resolvida, o possível resultado; ou, no caso de modelagem, seria a capacidade de intuir qual fórmula que melhor explica determinado fenômeno, antes que isso seja experimentalmente comprovado. Para outros, esse tipo de intuição matematicamente fundamentada é parte essencial da prática de modelagem:

Ok, então a intuição, quero dizer, é algo muito importante. Eu não acho que você deve modelar um sistema a não ser que você tenha, tipo, uma intuição do que deveria ser o resultado. Ou algo próximo ao que vai ser o resultado. E se o resultado é uma curva que faz algo maluco, especialmente para nós, por que não temos um biólogo no grupo, nós temos que ter alguma justificativa do por que a curva está fazendo o que está fazendo, além de dizer que a equação a fez sair desse jeito. Então, ter algum tipo de (...) intuição prévia para saber que quando a temperatura sobe, células devem morrer (...). Isso é algo de que você precisa estar consciente, ou se a temperatura sobe, você deve ter a intuição de que o fluxo vai subir¹³. (entrevista com Lynn).

Para Lynn, portanto, a modelagem requer algum tipo de intuição a respeito de como fenômenos físicos acontecem, para que a análise de uma curva, por exemplo, seja feita de forma a incorporar resultados esperados. Se a temperatura sobe, espera-se que células

¹² “Lewis: You know, they say that mathematics is intuition. But it’s really not. Prior to intuition you have to have, precision.

Lynn: I thought physics was intuition.

Lewis: On a certain level, on a certain level it’s intuition.

Lynn: I thought physics was intuition.

Lewis: (...) Mathematics is too.”

¹³ “Ok, so the intuition, I mean, it’s something that is very important. I don’t think you should model a system unless you have like an intuition of what should come out. Or something close to what’s going to come out. And if you get some curve that does something crazy, especially for us, since we don’t have the biologist in the group, we need to have some justification for why the curve is doing what it’s doing, other than the math equation made it come out that way. So, having some sort of underlying (...) intuition to know that as the temperature goes up, cells should die (...). That’s something that you should be aware of, or as temperature goes up, you should have the intuition that the perfusivity is going to go up.”

morram; portanto, a curva que indica células mortas num período de tempo em função de uma temperatura ascendente deve “subir” (e a curva que indica células vivas, cair). Intuição, aqui, aparece como um repertório de conhecimentos que está à disposição do analista no ato da interpretação de um gráfico, por exemplo, ou de um resultado. Lynn pensa que a ausência de um biólogo no grupo (ainda que o projeto conte com dois alunos de engenharia biomédica, um com formação em biologia e outra com formação em medicina) impede que os membros tenham essas intuições a respeito de fenômenos complexos no nível celular, limitando o alcance das análises. Ainda assim, estamos longe do tipo de intuição atribuído a pura interpretação, tal qual é associada por eles à biologia.

5 - Conclusão

De certa forma, modelar significa, nos termos colocados pelos cientistas aqui estudados, superar a generalidade ambígua da intuição e alcançar uma generalidade calcada em fatos experimentalmente determinados. Ainda que alguns, como Lynn, reconheçam o valor de um tipo de intuição que auxilie na busca de uma compreensão mais complexa de aspectos biológicos, o resultado final é sempre uma fórmula que descreve, com um maior ou menor grau de precisão, as relações internas ao fenômeno. A idéia, portanto, de que somente a matemática alcança uma explicação generalizável é reiterada. Não somente em termos epistemológicos, mas também em termos práticos.

Num grupo onde nem todos compartilham a mesma formação acadêmica e profissional, e onde precisam lidar com uma gama de conhecimentos por vezes díspares, alcançar intuições a respeito de processos biológicos e até mesmo apresentar sua pesquisa ao grupo pode tornar-se uma tarefa complexa. O uso da matemática como *língua franca*, nesse caso, facilita o intercâmbio entre os cientistas e confirma o caráter generalizante dessa linguagem simbólica em termos práticos. Para solucionar dúvidas, esclarecer ambigüidades e planejar o futuro do projeto, escrever fórmulas e equações no quadro negro, por exemplo, acaba sendo uma das estratégias mais utilizadas. Essa generalidade da matemática em termos de aliviar a disparidade de métodos e conceitos entre os cientistas repete-se no nível mais global do projeto: as fórmulas matemáticas que compõe o modelo servirão para superar as ambigüidades em termos de diagnosticar e prever processos biológicos, compondo assim uma ferramenta mais precisa de intervenção no corpo.

Antropólogo: (...) Ok, quando você está nas reuniões, que tipo de coisas são mais difíceis de entender, que tipo de coisas são mais fáceis? Dada a multiplicidade de disciplinas?

Chris: Sim, eu acho que muito disso tem a ver com coisas que já conversamos antes que são: nós precisamos de um conjunto comum de palavras que todos usemos para significar a mesma coisa. Porque o que você descobre é que você escuta alguém da ciência da computação, você pensa que pode saber o que eles estão dizendo, ou o Dr. Carl vai falar sobre entrelaçamento, e as palavras que ele está usando não são exatamente as mesmas que você usa, ou eu vou tentar interpretar e pensar num conjunto de definições em comum sobre o que cada coisa significa. Então eu acho que uma vez que nós superamos a parte da comunicação, então a matemática e as outras coisas não são tão ruins, quer dizer, quando conseguimos escrever as equações, as condições de delimitação e outras coisas no quadro, todo mundo diz ok, pode chamar do que quiser, eu entendo o que está acontecendo. (entrevista com Chris, ênfase do autor) ¹⁴

A idéia de que a “parte da comunicação” pode ser superada por fórmulas matemáticas é um dos pressupostos que fundamenta projetos de modelagem como esse, não somente em termos de superar as dificuldades de trabalhar em equipes multidisciplinares, mas também a de traduzir as complexidades biológicas em termos compreensíveis por máquinas, tornando possível a automatização de tomadas de decisão médicas e auxiliando na integração entre estruturas computacionais, a clínica e seres humanos (cientistas, médicos, pacientes). A idéia central aqui é a de superar as dificuldades de interação entre cientistas pela via das fórmulas matemáticas, tidas como “universais” e “objetivas”, e superar também a complexidade em se explicar processos biológicos para que novas formas de controle e intervenção a partir de uma integração entre computadores e corpos humanos possam ser operacionalizadas.

A idéia de que “digitalizar”, portanto, é um movimento na direção de buscar o perfeito controle do corpo, através da metáfora da manipulabilidade de objetos virtuais traduzida para

¹⁴ “Anthropologist: (...) Ok, when you’re at the meetings, what kinds of things are harder to understand, what kinds of things are easier? Given that multiplicity of disciplines?

Chris: Yeah, I think a lot of it gets back to things that we have talked about before is that, we need to have a common set of words that we all use to mean the same thing. Because what you find out is you listen to somebody from computer science, you think you might know what he is saying, or Dr. Carl will start talking about meshing, and the words that he’s using are not quite the same ones that you use, or I’ll try to interpret and figure a common set of definitions on what everything means. So I think once we get past the communication part, then the mathematics and the other things are not, not as bad, I mean once we can write the equations, the boundary conditions and things on the board, everybody says ok, call it anything you want to I understand what’s going on.”

corpos materiais, e precisa ser melhor delineada em termos de etnografias de laboratórios. Tais processos de digitalização lidam, na sua prática, entre outras coisas com diferentes entendimentos a respeito do valor das diferentes disciplinas que interagem em seu bojo. No caso aqui analisado, vemos como a busca de modelagem (ou explicação em termos computacionais e matemáticos) de um processo biológico parte da idéia de que a biologia pode ser “reduzida” em sua complexidade para os fins práticos perseguidos pelo grupo, a saber, a intervenção cirúrgica com o laser. Essa redução pressupõe que a biologia, na sua objetividade “imperfeita”, precisa ser traduzida em termos matemáticos. Essa tradução torna operacional, ao mesmo tempo, uma integração desejada entre formas de diagnóstico e intervenção médica com métodos matemáticos de modelagem. Essa busca significaria, tanto para cientistas como para as agências de fomento, um movimento em rumo a uma melhor medicina e uma melhor ciência.

Tal lógica não restringe-se assim às percepções dos cientistas, podendo ser extrapolada para o projeto pensado de forma mais ampla: os crescentes investimentos em tecnologias médicas, especialmente os que buscam integrar modelagem computacional a tratamentos cirúrgicos, pressupõe que saberes médicos devem buscar a automatização e a substituição da “intuição” biológica pela “objetividade” dos computadores. As reduções e simplificações operadas no decorrer de projetos como esse, como discutido acima, não é pensada da mesma forma por todos os integrantes, e o “problema da comunicação” permanece. Esse problema não pode, de fato, ser superado: afinal, tais projetos emergem de práticas colaborativas entre pessoas, que precisam comunicar-se e trabalhar juntos para que a “objetividade” final dos modelos faça sentido, não só científico, mas na prática clínica. Tal comunicação somente ocorre mediada pela linguagem e por pressupostos culturais e sociais. Por isso mesmo investigações etnográficas da ciência têm muito a colaborar para o entendimento dessas práticas, que não limitam-se ao laboratório, mas interferem em nossas práticas cotidianas de manejo e intervenção no corpo.

Referencias bibliográficas

- Adelson, N. Visible/Human/Project: Visibility and Invisibility at the Next Anatomical Frontier. In: A. Shtein e B. Lightman (Ed.). Figuring it Out: Science, Gender and Visual Culture. Hanover: Dartmouth, 2006. Visible/Human/Project: Visibility and Invisibility at the Next Anatomical Frontier, p.358-377
- Baird, F., C. J. Moore, *et al.* An Ethnographic Study of Engineering Design Teams at Rolls-Royce Aerospace. Design Studies, v.21, p.333-355. 2000.
- Baker, M. Representing Invention, Viewing Models. In: S. D. Chadarevian e N. Hopwood (Ed.). Models: The Third Dimension of Science. Stanford: Stanford University Press, 2004. Representing Invention, Viewing Models, p.19-43
- Bement Jr., A. Cyberinfrastructure Visions for 21st Century Discovery. National Science Foundation. Arlington. 2007
- Bordo, S. The Cartesian Masculinization of Thought. Signs, v.11, n.3, p.439-456. 1986.
- Bracken, C. J. "What do you mean?" The Importance of Language in Developing Interdisciplinary Research. Transactions of the Institute of British Geographers, v.31, p.371-382. 2006.
- Daston, L. e P. Galison. The Image of Objectivity. Representations, v.40, p.81-128. 1990.
- Elias, N. Scientific Establishments. In: N. Elias, H. Martins, *et al* (Ed.). Scientific Establishments and Hierarchies. London: D. Reidel, 1982. Scientific Establishments, p.3-71
- Forsythe, D. E. Engineering Knowledge: The Construction of Knowledge in Artificial Intelligence. Social Studies of Science, v.23, n.3, p.445-477. 1993.
- _____. Using Ethnography to Investigate Life Scientists' Information Needs. Bulletin of the Medical Library Association, v.86, n.3, p.402-409. 1998.
- _____. Studying Those Who Study Us: An Anthropologist in the World of Artificial Intelligence. Stanford: Stanford University Press. 2001
- Francoeur, E. e J. Segal. From Model Kits to Interactive Computer Graphics. In: S. D. Chadarevian e N. Hopwood (Ed.). Models: The Third Dimension of Science. Stanford: Stanford University Press, 2004. From Model Kits to Interactive Computer Graphics, p.402-433
- Helmreich, S. Silicon Second Nature: Culturing Artificial Life in a Digital World. Berkeley: University of California Press. 1998
- Hogle, L. F. Enhancement technologies and the body. Annual review of anthropology, v.35, p.695-716. 2005.

Hopwood, N. Plastic Publishing in Embryology. In: S. D. Chadarevian e N. Hopwood (Ed.). Models: The Third Dimension of Science. Stanford: Stanford University Press, 2004. Plastic Publishing in Embryology, p.170-207

Knorr-Cetina, K. The Manufacture of Knowledge: An Essay on the Constructivist and Contextual Nature of Science. Oxford: Pergamon. 1981

Knorr-Cetina, K. e K. Amman. Image Dissection in Natural Scientific Inquiry. Science, Technology and Human Values, v.15, n.3, p.259-283. 1990.

Kuhn, T. The Structure of Scientific Revolutions. Chicago: University of Chicago Press. 1970

Latour, B. Drawing Things Together. In: M. Lynch e S. Woolgar (Ed.). Representation in Scientific Practice. Cambridge: MIT Press, 1990. Drawing Things Together, p.19-68

Latour, B. e S. Woolgar. Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts. Princeton: Princeton University Press. 1986

Lenoir, T. Makeover: Writing the Body into the Posthuman Technoscape Part One: Embracing the Posthuman. Configurations, v.10, p.203-220. 2002a.

_____. Makeover: Writing the Body into the Posthuman Technoscape Part Two: Corporeal Axiomatics. Configurations, v.10, p.373-385. 2002b.

_____. The Virtual Surgeon: New Practices for an Age of Medialization. In: R. Mitchell e P. Thurtle (Ed.). Data Made Flesh: Embodying Information. New York: Routledge, 2004. The Virtual Surgeon: New Practices for an Age of Medialization, p.137-153

Lynch, M. The Production of Scientific Images: Vision and Re-Vision in the History, Philosophy and Sociology of Science. In: L. Pauwels (Ed.). Visual Cultures of Science: Rethinking Representational Practices in Knowledge Building and Science Communication. Hanover: Dartmouth College Press, 2006. The Production of Scientific Images: Vision and Re-Vision in the History, Philosophy and Sociology of Science, p.26-41

Lynch, M. e S. Woolgar. Introduction: Sociological Orientations to Representational Practice in Science. In: M. Lynch e S. Woolgar (Ed.). Representation in Scientific Practice. Cambridge: MIT Press, 1990a. Introduction: Sociological Orientations to Representational Practice in Science, p.1-19

_____, Eds. Representation in Scientific Practice. Cambridge: MIT Press. 1990b.

Mccallin, A. Interdisciplinary Researching: Exploring the Opportunities and Risks of Working Together. Nursing and Health Sciences, v.8, p.88-94. 2006.

Monteiro, M. Dilemas do Humano: Reinventando o corpo numa era (bio)tecnológica. Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

Pasveer, B. Representing or Mediating: A History and Philosophy of X-Ray Images in Medicine. In: L. Pauwels (Ed.). Visual Cultures of Science: Rethinking Representational Practices in Knowledge Building and Science Communication. Hanover: Dartmouth College

Press, 2006. Representing or Mediating: A History and Philosophy of X-Ray Images in Medicine, p.41-63

Pauwels, L., Ed. Visual Cultures of Science: Rethinking Representational Practices in Knowledge Building and Science Communication. Hanover: Dartmouth College Press. 2006.

Pickering, A., Ed. Science as Practice and Culture. Chicago: University of Chicago Press. 1992.

Prentice, R. The Anatomy of a Surgical Simulation: The Mutual Articulation of Bodies in and through the Machine. Social Studies of Science, v.35, n.6, p.837-866. 2005.

Rheinberger, H.-J. Experiment, Difference and Writing: I. Tracing Protein Synthesis. Studies in the History and Philosophy of Science, v.23, n.2, p.305-331. 1992a.

_____. Experiment, Difference and Writing: II. The Laboratory Production of Transfer RNA. Studies in the History and Philosophy of Science, v.23, n.3, p.389-422. 1992b.

Waldby, C. The Visible Human Project: Informatic bodies and posthuman medicine. New York: Routledge. 2000