

Digitalizando o câncer de próstata: pensando as interseções entre engenharia e biologia na ciência contemporânea

Marko Synésio Alves Monteiro

*Pós-doutorando no Departamento de Política Científica e Tecnológica –
Universidade Estadual de Campinas*

RESUMO: Este trabalho baseia-se numa pesquisa etnográfica feita na cidade de Austin (Texas, EUA) 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 de dados entre duas cidades (Houston e Austin) por meio 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. A investigação de tais dilemas torna-se mais premente 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. Introdução: modelagem computacional e medicina

A ciência contemporânea sofre uma rápida mudança a partir da introdução de práticas avançadas de modelagem matemática em diversas áreas, abrangendo física, química, biologia, engenharias, nanotecnologia, entre outras. Ao mesmo tempo, impõe-se o modelo de trabalho baseado em grupos interdisciplinares 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 aprofundada 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 e da Tecnologia (ESCT). 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 com base na análise de um grupo interdisciplinar utilizando-se o método etnográfico. 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, desenvolvido em parceria com um hospital de pesquisa na cidade de Houston, também no Texas. O objetivo final dos cientistas é conseguir integrar as previsões do modelo computacional na prática clínica dos médicos em

Houston, que poderiam assim obter dados referentes ao seu paciente específico a partir da infra-estrutura 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 que, contemporaneamente, são ainda pouco analisadas no campo da antropologia e dos ESCT.

O foco da coleta de dados para este projeto foram as reuniões semanais dos cientistas de Austin, que estão desenvolvendo o modelo computacional baseado em 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 pela construção de representações em 3D da próstata, por exemplo), discutem os resultados e buscam alcançar objetivos comuns a partir de suas perspectivas disciplinares distintas. Nas 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 dos processos biológicos para uma linguagem computacional e matemática.

Tal tradução é pressuposto básico para a possibilidade de efetuar-se a modelagem computacional na forma pretendida pelo grupo. 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 por meio 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 (Adelson, 2006; Waldby, 2000).

No caso aqui analisado, a “digitalização” integra o trabalho de construção de um modelo matemático, as visualizações em 2D e 3D e o feixe de *laser* usado para a ablação dos tecidos cancerosos no hospital. A busca de se representar digitalmente o processo de transferência de calor em tecidos 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 animais¹) 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.

O presente artigo buscará, nesse sentido, uma interpretação dessas práticas com base na análise de instâncias de desentendimento entre as áreas biológicas e de engenharia no projeto. Por meio de exemplos retirados das reuniões, busca-se analisar de que forma o trabalho de modelagem, que em última instância procura 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 baseados em 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 mediante a criação de conexões entre computadores, cientistas e corpos a serem “redesenhados” (como os pacientes de câncer de próstata).

Em pesquisas sobre grupos interdisciplinares (Baird et al., 2000; Bracken, 2006), alguns dos desafios aqui citados têm sido trabalhados, 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”, segundo muitos autores, no sentido de promoverem discussões entre seus participantes a respeito dos estilos de trabalho de cada um e das premissas de validade científica de cada disciplina (McCallin, 2006). A análise aqui realizada relaciona-se, dessa forma, a estudos sobre colaboração na ciência, mas também dialoga com uma literatura que busca propor formas de interpretar as novas tecnologias de alteração e aprimoramento do corpo (Hogle, 2005; Lenoir, 2002a, 2002b, 2004), investigando as práticas de digitalização desse corpo para além da idéia de “desmaterialização” (Waldby, 2000).

Mais especificamente, busca-se demonstrar que a almejada tradução de processos biológicos para uma linguagem matemática, premissa para a construção do modelo computacional, está repleta de instâncias de confusão e desentendimento no decorrer da sua realização na prática. Uma questão central é a existência de diferentes percepções a respei-

to da objetividade/subjetividade da biologia em oposição à matemática e engenharia. Tais divergências, além de deslocar uma imagem do senso comum de que tal tradução para a matemática é direta e pouco problemática, ajudam a iluminar as formas pelas quais os sentidos que os cientistas possuem a respeito das disciplinas interferem na produção de aparatos tecnológicos e participam de projetos científicos altamente sofisticados.

A oposição entre biologia, por um lado, e a matemática e engenharia, por outro, não pode, no entanto, ser simplificada como uma simples oposição entre a “subjetividade” de uma e a “objetividade” das outras. Como o artigo buscará argumentar, diferentes concepções acerca da objetividade dessas abordagens (observáveis tanto durante as reuniões quanto a partir das entrevistas) revelam conflitos internos ao grupo, que se referem ao âmago do objetivo buscado pelo projeto. Tais conflitos ajudam a problematizar a premissa de que a matemática seria uma forma objetiva e universalmente aceita de traduzir processos biológicos para termos mais “científicos”. Os desentendimentos, que os cientistas percebem como “o problema da comunicação” relativo à colaboração interdisciplinar, na verdade revelam obstáculos que vão além de simples transmissão de informações. Segundo os dados aqui levantados, eles referem-se às maneiras pelas quais os cientistas compreendem os objetos por eles manipulados e a forma pela qual tais entendimentos participam do próprio trabalho científico.

A dificuldade em se traduzir aspectos biológicos para uma linguagem matemática, pressuposto de projetos de digitalização como o aqui analisado, oferece subsídio para uma melhor compreensão das formas pelas quais pensamos as relações entre organismos vivos e máquinas, que vão interferir nas nossas atuais tentativas de relacionar esses dois âmbitos, especialmente na medicina de alta tecnologia. Leituras etnográficas

centradas nas práticas científicas podem assim ajudar a enriquecer nossa compreensão do aspecto social e cultural do desenvolvimento de novas ferramentas tecnológicas de diagnóstico e tratamento de doenças, o que contribui para o entendimento das complexas relações entre objetos técnicos, a cultura e nossos corpos.

2. O campo: colaboração interdisciplinar

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, sediado 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 quilômetros 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 autodescrições 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 e incluiu observação participante (especialmente das reuniões semanais do grupo de pesquisa), gravações em vídeo das reuniões e entrevistas com todos os membros da equipe. Trinta e duas reuniões foram observadas nesse período, sendo dez delas gravadas em vídeo para análise posterior.² Foram feitas observações também em duas palestras e uma conferência internacional nas 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. 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, que possui também um laboratório de visualização científica utilizado por alguns participantes. No mesmo prédio encontram-se os escritórios dos professores, pesquisadores e da maior parte dos alunos de pós-graduação envolvidos. Experimentos de bancada com culturas de 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, pois nelas 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) é trazido e apresentado ao grupo. Portanto, as reuniões constituem o lugar privilegiado para que cada participante familiarize-se com o trabalho dos outros e onde o trabalho de integração e cooperação ocorre na prática.

O objetivo final do projeto é construir o que os cientistas chamam de “ciber-infra-estrutura” (*cyberinfrastructure*), conjugando computado-

res, transmissão de dados entre as duas cidades, o *laser* e o modelo computacional. O sistema forneceria previsões do dano causado pelo *laser* na próstata do paciente em tempo real, durante a cirurgia, como auxílio à tomada de decisão clínica. Tal sistema traria, em tese, benefícios como a redução de danos desnecessários aos tecidos saudáveis, melhores resultados com a ablação do *laser*, dados personalizados obtidos por meio de um modelo computado em tempo real, tornando a tomada de decisão por parte do médico mais confiável e precisa.

A tarefa de integrar todos os elementos citados acima torna-se especialmente complexa devido à natureza dos processos 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 celular 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, não compartilhando 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 fun-

damentais 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 decorrer do processo de discussão dos resultados e de busca de 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, reunir-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 projeto.³ (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 no exame 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 afirma 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 su-

cesso. 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 geral.⁴ (entrevista com George)

No trecho acima vemos que a discussão acerca do entendimento nas reuniões interdisciplinares passa por uma compreensão a respeito do valor dessa colaboração. 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), podendo 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 representados) vêm se desenvolvendo de acordo com uma história específica. Em pesquisas anteriores no campo dos ESCT (Elias, 1982; Knorr-Cetina, 1981; Kuhn, 1970; Latour & Woolgar, 1986; Pickering, 1992; Rheinberger, 1992a, 1992b), tem-se 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 & Galiston, 1990), especialmente no que se refere às formas pelas quais a verdade científica é representada visualmente (Knorr-Cetina & Amman, 1990). Uma compreensão das práticas científicas não pode, assim, eximir-se de investigar a prática de produção de representações (Lynch & 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, devendo ser compreendidas como partes integrantes do processo de tornar o conhecimento sobre a natureza *visível* nas suas propriedades essenciais, representando visualmente a sua ordem interna (Lynch, 2006; Lynch & Woolgar, 1990a; Pauwels, 2006).

No entanto, nesse estudo em particular, as práticas de produção de representações digitais do real transcendem as características visuais do modelo em 3D. 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 & Galiston, 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 almeja-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, portanto, interativas em vários níveis: primeiramente, no nível das práticas de produção do conhecimento, pois

durante as reuniões manipula-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, por meio 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 baseados na 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 (Forsythe, 2001; Helmreich, 1998), 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 & 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). Tal tecnologização da medicina (Clarke et al., 2003) está associada 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 des-

loca 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-infra-estruturas”, 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 incorporar crescentemente as ciber-infra-estruturas 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 mecânicas de produção e reprodução de imagem (fotografia, raios-X, cinema), há um reforço da noção de que tais imagens produzidas por máquinas possuem uma vantagem no que diz respeito à proximidade com a realidade (Benjamin, 1985). 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 & 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 pode ser inferido com base nos dados estabelecem 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 grupo 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 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 por meio de traços produzidos pelos equipamentos (curvas que indicam morte de células, ou energia do *laser*) com os traços produzi-

dos pelo modelo baseado nos parâmetros desenvolvidos pelo cientista. O trabalho interpretativo integra portanto gráficos e imagens analisadas nas reuniões, desenvolvimento de objetos virtuais em 3D que devem corresponder à 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) para 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 de temperatura (MRTI). O grupo trabalhou tanto com modelos inanimados (um pote de gel contendo uma próstata canina em seu interior, cf. Imagem 1) quanto com modelos animais. 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.

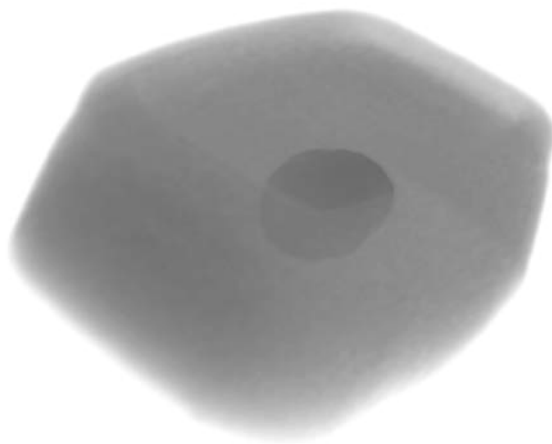


Imagem 1: Objeto virtual em 3D representando um pote de gel contendo uma próstata canina em seu interior. Esse modelo foi usado nos primeiros testes com o *laser*

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 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 mesmos, 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

Ou seja, a norma do olho é uma expressão irônica, na medida em que conjuga “norma” de objetividade, supostamente mensurável de for-

ma matemática, com o olhar, significando aqui uma medida subjetiva daquele que olha. A ironia da expressão sugere ao mesmo tempo o rigor matemático pretendido no trabalho com modelagem e na apresentação e interpretação de resultados e o uso prático de formas não-matemáticas de avaliação e interpretação.

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, tornando assim 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, encontra-se certa contradição entre biologia e matemática/engenharia: enquanto a primeira é tida como mais subjetiva, 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, por meio do qual se comprova que os resultados descritos pelo modelo correspondem, mediante a 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 sim de buscar chegar-se à lógica de sentido que orienta desde as decisões de financiar tais projetos, até as 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 com o auxílio de novas ferramentas computacionais disponíveis aos cientistas e com o 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, passando de biólogo a engenheiro, como um movimento da intuição para a objetividade:

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, porque 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. Porque quando você depende da intuição, há uma grande probabilidade de que você esteja errado. Quando você segue as re-

gras, 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 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/matемática 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, porque 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 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 à “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 à 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 em 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 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 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 das células em relação à temperatura e ao tempo de exposição. Ela mostra os resultados com base em 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 2), apesar de ser considerada padrão (segundo Laura) para a quantificação de células vivas e mortas, não é uma forma de interpretação de dados comum no meio computacional.

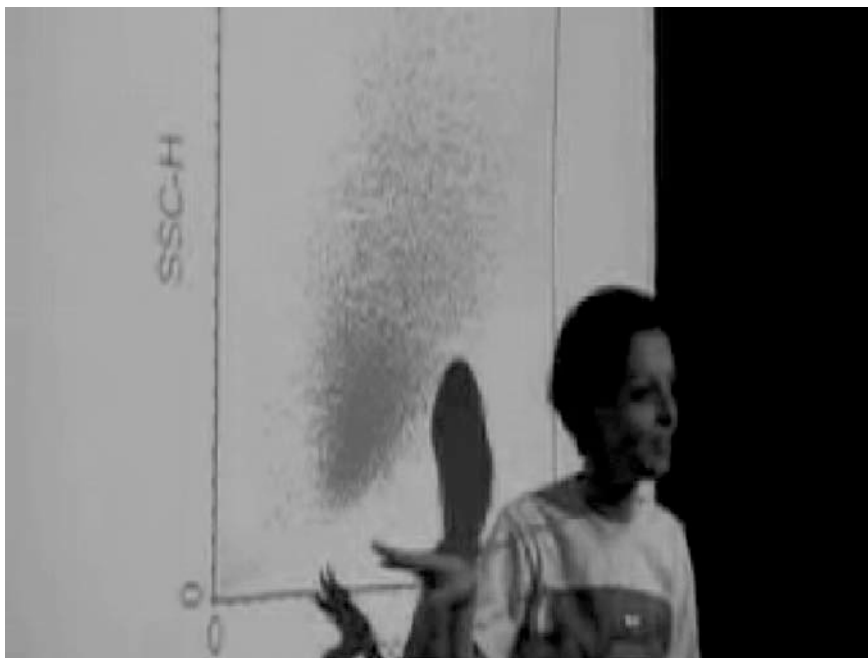


Imagem 2: Laura apresenta os dados obtidos por citometria de fluxo

Nessa reunião em particular, ficou clara a falta de familiaridade dos outros cientistas com essa forma de apresentar os dados pela própria dinâmica das perguntas e dos debates causados pelos resultados exibidos. 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. Ausentes do debate ficaram os resultados em si mesmos e o seu 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 com base na 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 (?)¹⁰ 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.¹¹ (reunião do dia 19/04/2007)

No trecho acima vemos uma pequena parte de uma longa seqüência 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 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 é nomear regiões, sendo que 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: desconhecido¹². (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, ao passo 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.

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 também.¹³ (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 subir.¹⁴ (entrevista com Lynn)

Para Lynn, portanto, a modelagem requer algum tipo de intuição a respeito do modo 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 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 à pura interpretação, tal qual é associada por eles à biologia. Percebe-se a diferença qualitativa no que diz respeito ao papel atribuído à intuição nos casos da biologia e da matemática. Na primeira, a intuição denota subjetivi-

dade e interpretação. Na segunda, ela indica uma tentativa de antecipar, com base em amplos conhecimentos prévios, resultados de uma equação que corresponde ela mesma à verdade do fenômeno sendo observado.

5. Conclusão

De certa forma, modelar significa, nos termos “nativos” colocados pelos cientistas aqui estudados, superar a generalidade ambígua da intuição e alcançar uma generalidade objetiva, 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 por boa parte dos cientistas. Não somente em termos epistemológicos, mas também em termos práticos. Mesmo assim, como o artigo buscou demonstrar, fica perceptível que o esforço de modelagem é muito mais ambíguo e complexo na prática do que o discurso dos cientistas deixa antever.

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, segundo os cientistas, a comunicação de resultados e confirma para o grupo 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.

A idéia de que a matemática serviria para mitigar a disparidade de métodos e conceitos entre os cientistas no decorrer do trabalho interdisciplinar repete-se no nível mais global do projeto: as fórmulas matemáticas que compõem o modelo servirão, segundo os objetivos explicitados do grupo, para minimizar as ambigüidades de diagnóstico e prever processos biológicos, compondo assim uma ferramenta mais precisa de intervenção médica no corpo. Ao mesmo tempo, esse uso prático da matemática exclui discussões comuns ao campo da biologia, estabelecendo a identidade do grupo como sendo de modelagem computacional e matemática.

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.*¹⁵ (entrevista com Chris, ênfase do autor)

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. A matemática ajudaria a superar não só as dificuldades de trabalhar em equipes interdisciplinares, mas também aquelas relacionadas à tradução das complexidades biológicas em termos compreensíveis por máquinas. 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 maior controle do corpo, através da metáfora da manipulabilidade de objetos virtuais materializada nos corpos, 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 tornaria 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 rumo a uma melhor medicina e uma melhor ciência.

Tal lógica não se restringe assim às percepções dos cientistas aqui analisados, 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 trata-

mentos cirúrgicos, pressupõem 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 são pensadas 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 se limitam ao laboratório, mas interferem em nossas práticas cotidianas de manejo e intervenção no corpo.

Notas

- ¹ Cachorros foram usados pelo grupo estudado na tentativa de se modelar o modo como o *laser* interagia com a próstata num organismo vivo.
- 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.

- 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.”
- 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.”
- 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.”
- 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. 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.

- ⁸ **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)!”

- 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)

- ¹⁰ Inaudível.

- ¹¹ **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 0.2 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.
- ¹² **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.
- ¹³ **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.
- ¹⁴ 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.

- ¹⁵ **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.*

Bibliografia

ADELSON, N.

- 2006 "Visible/Human/Project: Visibility and Invisibility at the Next Anatomical Frontier", in SHTEIN, A.; LIGHTMAN, B. (orgs.), *Figuring it Out: Science, Gender and Visual Culture*, Hanover, Dartmouth, pp. 358-377.

BAIRD, F.; MOORE, C.; JAGODZINSKI, A.

- 2000 "An Ethnographic Study of Engineering Design Teams at Rolls-Royce Aerospace", *Design Studies*, vol. 21: 333-355.

BAKER, M.

- 2004 "Representing Invention, Viewing Models", in CHADAREVIAN, S. e HOPWOOD, N. (orgs.), *Models: The Third Dimension of Science*, Stanford, Stanford University Press, pp. 19-43.

BEMENT JR., A.

- 2007 *Cyberinfrastructure Visions for 21st Century Discovery*, National Science Foundation.

BENJAMIN, W.

1985 *Obras Escolhidas, v. I: Magia e técnica, arte e política*, trad. S. P. Rouanet, São Paulo, Brasiliense.

BRACKEN, C. J.

2006 “‘What do you mean?’ The Importance of Language in Developing Interdisciplinary Research”, *Transactions of the Institute of British Geographers*, vol. 31: 371-382.

CLARKE, A. E.; SHIM, J.; MAMO, J.; FORSKET, J.; FISHMAN, J.

2003 “Biomedicalization: Technoscientific Transformations of Health, Illness and US Biomedicine”, *American Sociological Review*, vol. 68: 161-194.

DASTON, L.; GALISTON, P.

1990 “The Image of Objectivity”, *Representations*, vol. 40: 81-128.

ELIAS, N.

1982 “Scientific Establishments”, in ELIAS, N., MARTINS, H. e WHITLEY, R. (orgs.), *Scientific Establishments and Hierarchies*, London, Reidel, pp. 3-71.

FORSYTHE, D. E.

1993 “Engineering Knowledge: The Construction of Knowledge in Artificial Intelligence”, *Social Studies of Science*, vol. 23(3): 445-477.

1998 “Using Ethnography to Investigate Life Scientists’ Information Needs”, *Bulletin of the Medical Library Association*, vol. 86(3): 402-409.

2001 *Studying Those Who Study Us: An Anthropologist in the World of Artificial Intelligence*, Stanford, Stanford University Press.

FRANCOEUR, E.; SEGAL, J.

2004 “From Model Kits to Interactive Computer Graphics”, in CHADAREVIAN, S. D.; HOPWOOD, N. (orgs), *Models: The Third Dimension of Science*, Stanford, Stanford University Press, pp. 402-433.

HELMREICH, S.

1998 *Silicon Second Nature: Culturing Artificial Life in a Digital World*, Berkeley, University of California Press.

HOGLE, L. F.

2005 “Enhancement technologies and the body”, *Annual Review of Anthropology*, vol. 35: 695-716.

HOPWOOD, N.

2004 “Plastic Publishing in Embryology”, in CHADAREVIAN S. D.; HOPWOOD, N. (orgs.), *Models: The Third Dimension of Science*, Stanford, Stanford University Press, pp. 170-207.

KNORR-CETINA, K.

1981 *The Manufacture of Knowledge: An Essay on the Constructivist and Contextual Nature of Science*, Oxford, Pergamon.

KNORR-CETINA, K.; AMMAN, K.

1990 “Image Dissection in Natural Scientific Inquiry”, *Science, Technology and Human Values*, vol. 15(3): 259-283.

KUHN, T.

1970 *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, University of Chicago Press.

LATOUR, B.

1990 “Drawing Things Together”, in LYNCH, M.; WOOLGAR, S. (orgs.), *Representation in Scientific Practice*, Cambridge, MIT Press, pp. 19-68.

LATOUR, B.; WOOLGAR, S.

1986 *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*, Princeton, Princeton University Press.

LENOIR, T.

2002a “Makeover: Writing the Body into the Posthuman Technoscape Part One: Embracing the Posthuman”, *Configurations*, vol. 10: 203-220.

2002b “Makeover: Writing the Body into the Posthuman Technoscape Part Two: Corporeal Axiomatics”, *Configurations*, vol. 10: 373-385.

2004 “The Virtual Surgeon: New Practices for an Age of Medialization”, in MITCHELL, R.; THURTTLE, P. (orgs.), *Data Made Flesh: Embodying Information*, New York, Routledge, pp. 137-153.

LYNCH, M.

- 2006 “The Production of Scientific Images: Vision and Re-Vision in the History, Philosophy and Sociology of Science”, in PAUWELS, L. (org.), *Visual Cultures of Science: Rethinking Representational Practices in Knowledge Building and Science Communication*, Hanover, Dartmouth College Press, pp. 26-41.

LYNCH, M.; WOOLGAR, S.

- 1990a “Introduction: Sociological Orientations to Representational Practice in Science”, in LYNCH, M.; WOOLGAR, S. (orgs.), *Representation in Scientific Practice*, Cambridge, MIT Press, pp. 1-19.
- 1990b *Representation in Scientific Practice* (orgs.), Cambridge, MIT Press.

MCCALLIN, A.

- 2006 “Interdisciplinary Researching: Exploring the Opportunities and Risks of Working Together”, *Nursing and Health Sciences*, vol. 8: 88-94.

MONTEIRO, M.

- 2005 *Dilemas do Humano: Reinventando o corpo numa era (bio)tecnológica*, Tese (Doutorado), Campinas, Universidade Estadual de Campinas.

PASVEER, B.

- 2006 “Representing or Mediating: A History and Philosophy of X-Ray Images in Medicine”, in PAUWELS, L. (org.), *Visual Cultures of Science: Rethinking Representational Practices in Knowledge Building and Science Communication*, Hanover, Dartmouth College Press, pp. 41-63.

PAUWELS, L. (org.)

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

PICKERING, A. (org.)

- 1992 *Science as Practice and Culture*, Chicago, University of Chicago Press.

PRENTICE, R.

- 2005 “The Anatomy of a Surgical Simulation: The Mutual Articulation of Bodies in and through the Machine”, *Social Studies of Science*, vol. 35(6): 837-866.

RHEINBERGER, H.-J.

1992a “Experiment, Difference and Writing: I. Tracing Protein Synthesis”, *Studies in the History and Philosophy of Science*, vol. 23(2): 305-331.

1992b “Experiment, Difference and Writing: II. The Laboratory Production of Transfer RNA”, *Studies in the History and Philosophy of Science*, vol. 23(3): 389-422.

WALDBY, C.

2000 *The Visible Human Project: Informatic Bodies and Posthuman Medicine*, New York, Routledge.

ABSTRACT: This paper is based on ethnographic work conducted in the city of Austin (Texas, USA) with an interdisciplinary group of scientists working on a computer model of bioheat transfer in the prostate. The group’s aim is to develop a new paradigm for prostate cancer surgery, based on predictions from the computer model and data interconnectivity between two cities (Houston and Austin) enabled by advanced computer technologies. The analysis will focus on the scientists’ interactions in Austin and the dilemmas they faced in their scientific work pertaining to the “digitizing” of biological processes. The aim of this paper is thus to analyze how biomedical engineers, computer scientists and mathematicians work together to establish new forms of representing the biological body in mathematical and computational terms. The paper concludes that this process of translating the human body and its functions is marked by misunderstandings and difficulties in translating between biology and engineering. This analysis illuminates some of the main difficulties inherent to such scientific undertakings, which are becoming increasingly common. Such difficulties will grow to be more relevant as more countries, including Brazil, invest heavily in incorporating computer technologies in medicine.

KEY-WORDS: computer modeling, anthropology of technology, prostate cancer.

Recebido em agosto de 2008. Aceito em julho de 2009.