

Utilização de Autômatos Celulares para Simulação de Impactos Ambientais

Felipe Neves da Silva e Diana F. Adamatti

Abstract— This paper presents a study on the management of natural resources from the proposal of a software that simulates the environmental impacts caused by the creation of an industry in a specificity region with the use of cellular automata.

Index Terms — Artificial Intelligence, Cellular Automata, Environments Simulation, Natural Resources Management and Environmental Impacts.

Resumo — Este artigo apresenta um estudo sobre o gerenciamento de recursos naturais a partir da proposta de um software que simula, com a utilização de autômatos celulares, os impactos ambientais provocados pela criação de uma indústria em meio a uma determinada região.

Palavras chave — Inteligência Artificial, Autômatos Celulares, Simulação de Ambientes, Gerenciamento de Recursos Naturais e Impactos Ambientais.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, os muitos problemas naturais presentes no planeta tem recebido grande destaque na mídia em geral e, conseqüentemente, despertado inúmeras discussões. A partir destes debates, surgiu o conceito de gerenciamento de recursos naturais, área que busca a preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável através do gerenciamento de terras, águas, flora e fauna, focando o estudo técnico científico dos recursos naturais e sua preservação [5].

Intrinsecamente ligado à área de gerenciamento de recursos naturais encontra-se o tema alvo deste artigo, o estudo de impactos ambientais. Toda alteração sofrida pelo meio ambiente em função de alguma ação ou atividade é considerada um impacto ambiental. Portanto, seu estudo tem como principal objetivo avaliar as conseqüências provocadas pela execução de determinadas ações, de forma que a qualidade do ambiente possa ser mantida [8].

Assim, do mesmo modo como ocorre com diversos outros problemas, o uso da computação é uma alternativa sempre cogitada para ajudar na prevenção de impactos ambientais devido principalmente a sua capacidade de processamento e análise de dados. Entretanto, integrar a computação ao gerenciamento de recursos naturais gera alguns problemas: o

gerenciamento e comunicação de dados, a análise de dados e o controle e otimização [3].

Portanto, o simples uso da computação não possibilita que grandes avanços sejam realizados nessa área. Para conseguir um bom desempenho e contornar estes problemas o uso de uma computação mais avançada se faz necessário. Uma boa possibilidade encontra-se na utilização de técnicas de inteligência artificial (IA), as quais tem a flexibilidade necessária para tratar a dinâmica existente entre os recursos naturais [1].

Dentre as diversas técnicas de IA existentes, podem-se destacar algumas já utilizadas com sucesso para o gerenciamento de recursos naturais: algoritmos genéticos, redes neurais, sistemas multiagentes, inteligência de enxames e autômatos celulares [1]. Esta última, autômatos celulares, foi escolhida para realizar o trabalho apresentado neste artigo.

Deste modo, a Seção II apresenta uma visão geral dos impactos ambientais do ar, da água e do solo. A Seção III expõe a relação entre as técnicas de inteligência artificial, o gerenciamento de recursos naturais e o funcionamento dos autômatos celulares. A Seção IV demonstra o funcionamento da ferramenta desenvolvida e a Seção V os resultados alcançados e as conclusões obtidas.

II. IMPACTOS AMBIENTAIS

Desde as primeiras gerações do homem na terra, ele vem modificando a natureza. Inicialmente, realizava ações de caça e coleta de forma a interferir apenas em algumas poucas cadeias alimentares as quais compreendiam os animais e vegetais utilizados para seu sustento. Com a descoberta do fogo, o homem passou a consumir novos alimentos e a habitar zonas mais frias do planeta, porém os impactos gerados sobre o planeta ainda eram reduzidos [2].

No decorrer dos anos, alguns acontecimentos provocaram um grande crescimento na quantidade de impactos provocados pelo homem ao ambiente. O primeiro a se destacar foi a revolução agrícola ocorrida por volta de 10000 A. C., quando o homem passou de forma gradativa a derrubar florestas para utilizar as áreas compreendidas por elas para a prática da agricultura e da pecuária. Outro ponto de intensificação se deu quando a cerca de 4500 anos foram estabelecidas as primeiras cidades.

Nas últimas décadas, o crescimento tornou-se exponencial, impulsionado principalmente pelos avanços tecnológicos ocorridos a partir das revoluções industriais e pelo crescimento

Felipe Neves da Silva é mestrando do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional da Universidade Federal do Rio Grande (PPGMC/FURG). E-mail: fnds9@yahoo.com.br

Diana F. Adamatti é professora doutora do Centro de Ciências Computacionais e do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional da Universidade Federal do Rio Grande (C3/PPGMC/FURG). E-mail: dianaadamatti@furg.br

exacerbado da população.

O efeito dos impactos provocados pelo homem só agora começa a ser percebido, pois os impactos gerados antigamente ocorriam de forma localizada e descontínua, tornando possível que os ecossistemas se regenerassem sem aparentar maiores problemas, o que não acontece nos dias de hoje em que impactos são provocados de maneira contínua e em grande escala.

Grande parte dos impactos gerados ao ambiente surge a partir da poluição produzida pelas grandes indústrias, a qual atinge ar, água e solo.

A poluição do ar ocorre principalmente pelo lançamento ao ar de enormes quantidades de gases, materiais particulados e partículas que não são encontradas naturalmente na atmosfera, geradas a partir das mais diversas operações industriais. Deste modo, a poluição atmosférica é um dos maiores problemas existentes nos centros urbanos, afetando direta e indiretamente as pessoas [2].

Relacionados a poluição do ar estão alguns dos principais problemas ambientais hoje debatidos: as ilhas de calor, o fenômeno da inverção técnica, o efeito estufa, a destruição da camada de ozônio e as chuvas ácidas.

Já a poluição do solo provocada pelas indústrias se dá principalmente pelo depósito direto no solo de lixo industrial ou de substâncias tóxicas resultantes de suas atividades. Este tipo de atividade não promove o uso sustentável do solo, ou seja, são atividades que prejudicam o solo de tal maneira que nem mesmo as gerações futuras poderão usufruir de seu uso. Já o solo utilizado com cuidado, de uma forma sustentável, é capaz de se renovar em um ano através de recursos naturais [6].

Por fim, a poluição da água ocorre de maneira geral pelo lançamento direto de resíduos industriais em rios, lagos, etc. Alguns efeitos provocados por este tipo de poluição são: diversas substâncias ácidas, amoníacos, sulfuretos, entre outros, provocam a paralisação das reações biológicas, provocando a morte imediata de diversos organismos; algumas substâncias são capazes de alterar a capacidade de absorver calor da água. O aumento de temperatura da água provoca um maior consumo de oxigênio por parte dos organismos, o que põe em risco todos os seres que dependem do oxigênio contido nela; por fim, várias substâncias como nitratos, o arsênico, o selênio, o chumbo e cádmio que são lançadas na água e provocam as mais variadas reações tóxicas nos organismos [9].

III. IA E O GERENCIAMENTO DE RECURSOS NATURAIS

Inteligência Artificial (IA) pode ser dita como a área da computação que busca desenvolver sistemas capazes de resolver de forma racional os mais diversos problemas, ou seja, compreende a busca por dar às máquinas a capacidade de obter soluções utilizando-se do discernimento característico dos humanos [7].

A ampla gama de problemas sob os quais é passível a aplicação de sistemas inteligentes propiciou o surgimento de diferentes técnicas de IA, que tendem a ter um desempenho melhor quando aproveitadas para um determinado grupo de problemas. Redes neurais artificiais, algoritmos genéticos, árvores de decisão e sistemas multiagentes, são algumas das técnicas utilizadas [1].

O problema alvo abordado neste artigo, o gerenciamento de recursos naturais, mais precisamente o gerenciamento de impactos ambientais, necessita de forma imprescindível dos sistemas computacionais para sua otimização, tendo em vista sua grande importância tanto para as gerações futuras, como para a vida atual no planeta.

Porém esta combinação entre a computação e o gerenciamento de recursos naturais não é simples, e gera pelo menos três grandes desafios computacionais a serem superados: o gerenciamento e comunicação de dados, a análise destes dados e controle e otimização do processo [3].

A melhor forma encontrada para contornar estes problemas é justamente a aplicação de técnicas de IA, devido principalmente a habilidade que estas possuem para trabalhar com as incertezas e assim prover a flexibilidade necessária para o tratamento da dinâmica existente entre os recursos naturais [1]. Assim, determinou-se que Autômatos Celulares seria a técnica utilizada para criação da ferramenta de simulação apresentada neste artigo.

Autômatos Celulares são utilizados como modelo para determinação e/ou formação de padrões que tentam simular fenômenos da natureza, bem como suas regras de interação. Dentre os principais modelos destacam-se o criado por John Von Neumann com o auxílio de Stanislaw Ulam, que tinha como objetivo simular a auto-reprodução realizada por alguns organismos biológicos e o modelo de Horton Conway denominado *Game of Life* (Jogo da Vida) [4].

Por gerar um amplo espectro de padrões comportamentais complexos, a partir de conjuntos simples de regras, os Autômatos Celulares têm sido alvo de vários estudos. Outra característica importante destes autômatos é a capacidade aparente de capturar a essência de comportamentos auto-organizados complexos observados em sistemas naturais [4].

Por definição, pode-se dizer que Autômatos Celulares são modelos matemáticos discretos no tempo, no espaço e nas variáveis dinâmicas, cuja evolução é regida por regras simples. Eles são formados por unidades simples que interagem entre si e, à medida que o sistema evolui dinamicamente, surgem comportamentos complexos derivados da influência mútua existente, sendo que esta é uma das principais características dos sistemas complexos [4].

Um Autômato Celular possui quatro características principais: geometria, que determina a dimensão espacial, a forma de cada uma das células do autômato e a maneira como elas são distribuídas; os tipos de regras, utilizadas para determinar como se modificam os estados das células; os tipos de vizinhança, que determina quais células devem ser consideradas para modificação do estado de uma célula; e o estado inicial do modelo, que determina o estado inicial de

cada uma das células que o compõe.

IV. FERRAMENTA PROPOSTA

A ferramenta foi desenvolvida de forma a simular os impactos ambientais provocados pela poluição gerada a partir de indústrias. Ela foi construída utilizando a linguagem C e foi planejada de forma que o usuário possa visualizar os impactos provocados por uma indústria inserida sobre um mapa. A Figura 1 apresenta um modelo simples do *software*.

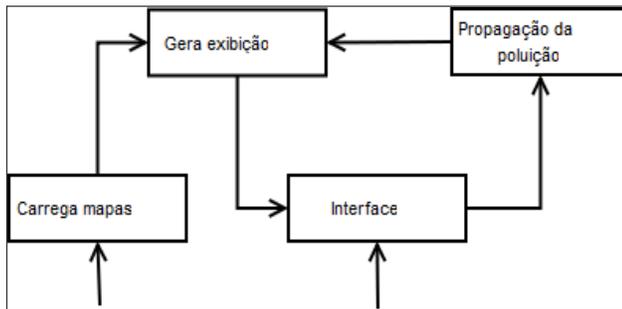


Figura 1 - Diagrama de blocos com os módulos que compõem o software

Os quatro módulos principais que compõem a ferramenta são: carrega mapas, é o módulo responsável por carregar os mapas contidos em arquivos para as matrizes utilizadas no programa; interface, responsável pela interação com usuário; gera exibição, responsável pela geração da parte gráfica da ferramenta; e propagação da poluição, módulo onde ocorre a simulação propriamente dita, ou seja, é onde se avaliam terreno e quantidade de poluição de forma a gerar os impactos ambientais sob o mapa.

Dois tipos de mapas são utilizados pela ferramenta: um que representa a estrutura do solo da região sob a qual será realizada a simulação e outro que representa sua superfície. Esta diferenciação é necessária para se realizar a propagação da poluição nos três ambientes considerados: ar, solo e água.

Cada mapa é composto por um *grid* de 50 x 50 posições e apresentam diferentes terrenos em sua composição como pode ser visualizado na Figura 2.

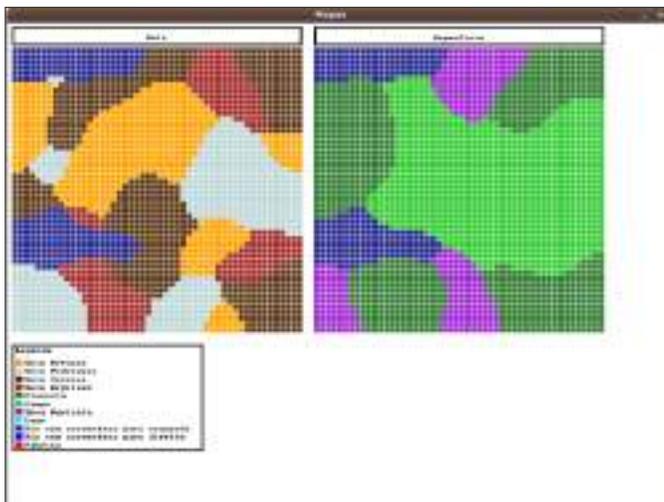


Figura 2 - Janela de exibição inicial de mapas

Observa-se que tanto o mapa do solo, à esquerda, quanto o mapa da superfície apresentam diversas regiões que se diferenciam pela cor que as definem. Uma legenda para essas regiões pode ser vista na parte inferior da Figura 2 e apresentado em mais detalhes na Figura 3.

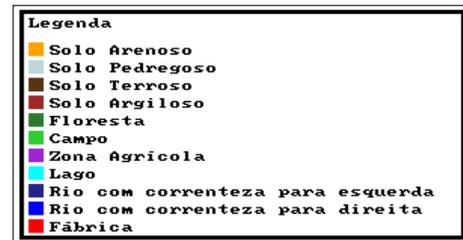


Figura 3 – Legenda de cores

Para cada tipo de terreno definido em cada um dos mapas existe uma característica diferente, diferenciando também a propagação da poluição através destas regiões. Para o mapa do solo, quatro tipos de terreno foram determinados:

- Arenoso: Por ser muito permeável, permite um avanço maior da poluição em regiões compostas por este tipo de terreno;
- Terroso: Também conhecido como humoso, é extremamente fértil por conter uma grande concentração de material orgânico em decomposição. Sua estrutura permite uma boa penetração no solo, colocando este tipo de solo como o segundo solo por onde a poluição mais se propaga entre os quatro considerados;
- Argiloso: Como o nome indica é um solo rico em argila, um material fino e compacto, portanto, pouco permeável. Desta forma este tipo de terreno está entre os que menos permitem o avanço da poluição. Entre os solos trabalhados apenas o pedregoso é menos permeável que ele;
- Pedregoso: Caracteriza-se por ser extremamente seco e ter em sua composição uma grande quantidade de rochas como o calcário dispostas de forma compacta. Assim, este é o solo menos permeável entre os solos considerados, sendo então o solo pelo qual a poluição menos avança.

Do mesmo modo com que diferentes tipos de solo são considerados para propiciar uma variação na poluição do solo, alguns tipos de terreno foram escolhidos para compor a superfície de forma que as distintas maneiras com que permitem a circulação de ar provoquem uma mudança no modo pelo qual a poluição do ar se propaga nestas superfícies. Os tipos de superfície considerados são:

- Campo: Campos abertos normalmente são regiões onde existe muito vento, devido à falta de barreiras

naturais que impeçam a circulação de ar. Assim, entre as superfícies trabalhadas, o campo é a que mais permite que a poluição do ar se propague.

- Zona agrícola: Permitem uma boa circulação do ar, embora a possibilidade de que existam construções que diminuam a circulação de ar a tornem a segunda superfície que mais permite a propagação da poluição em meio os terrenos trabalhados.
- Rios e lagos: Compostos por três tipos de superfícies: rio com correnteza para direita, rio com correnteza para esquerda e lago, permitem uma grande circulação de ar, igualando-se aos campos neste quesito.
- Floresta: Devido à presença de vegetação elevada, permitem uma circulação de ar menor quando comparada as demais superfícies.

A partir destas atribuições, pode-se inicializar o principal processo da simulação, perguntando ao usuário a posição do mapa na qual ele deseja inserir a indústria geradora da poluição. Esta é a posição central da fábrica, a qual ocupa uma área de 3 x 3 posições (quadrado vermelho). Uma visualização dos mapas com a fábrica instalada é apresentada ao usuário e pode ser visualizada na Figura 4.

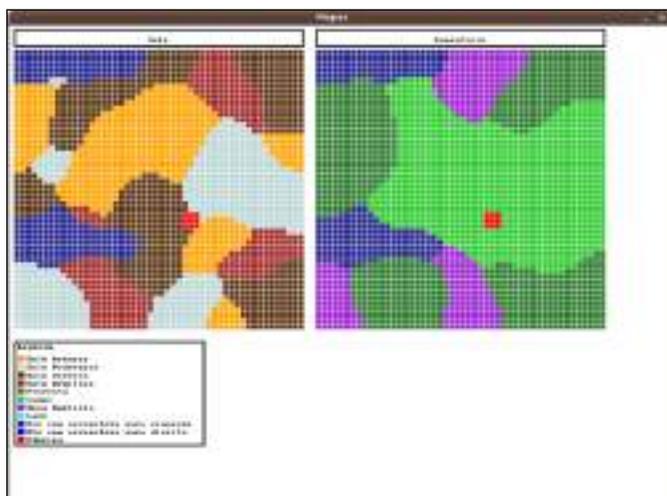


Figura 4 – Mapas com a inserção da indústria.

Com o local da indústria escolhido, começa o processo de inicialização da poluição no mapa. A poluição é armazenada em duas matrizes de três dimensões, uma para poluição do ar e outra para as poluições propagadas pelo solo e pela água. O motivo pelo qual se utiliza uma mesma matriz para representar a poluição destes dois últimos meios é o fato de que existe uma grande interação entre eles, o que faz com que a poluição antes propagada em um deles possa chegar ao outro e vice-versa.

O primeiro passo para inicializar a poluição é perguntar ao usuário qual dos três tipos de fábricas trabalhadas ele deseja simular: pouco poluente, poluente ou muito poluente. A partir desta escolha, um valor condizente para o nível de poluição

escolhido é colocado em cada uma das matrizes de poluições na posição referente ao centro da indústria. Este é o valor máximo de poluição, e é a partir dele que todos os demais serão gerados.

Antes de falar sobre o processo de simulação propriamente dito é necessário esclarecer a ideia geral deste processo. A propagação da poluição sobre o mapa é realizada utilizando-se de um processo já apresentado neste artigo, os Autômatos Celulares (Seção III), onde cada posição do mapa representa uma célula que interagem para propagar os novos valores de poluição.

Esta interação depende de um parâmetro criado para inserir as características de cada tipo de terreno na propagação da poluição, a chamada taxa de propagação. Assim, verificando o terreno de um vizinho e sua respectiva taxa de propagação uma célula consegue “descobrir” o quanto da poluição que possui deve ser passada adiante. Este é um processo que cada célula realiza, enviando novos valores de poluição para seus vizinhos sempre que estes possuam valores menores que os a serem propagados.

Assim, as taxas de propagação dos terrenos de superfície são utilizadas para calcular os valores da poluição que avança pelo ar, do mesmo modo que as taxas dos tipos de solo mostram o quanto de poluição deve ser propagada por eles. Uma exceção a esta regra são os terrenos formados por água que possuem dois tipos de taxas de propagação: uma de superfície que indica como a poluição se propaga pelo ar sobre a água e outra que informa como se comporta a poluição quando avança pela água.

Deste modo, a Tabela 1 apresenta todas as taxas que regem o processo de simulação, as quais assumem valores entre 0 e 1, onde 1 representa que o valor da poluição deve ser passado adiante por completo e 0 indica que nada deve ser propagado.

Tabela 1 – Taxas de Propagação para cada tipo de uso do solo.

| Tipo de Terreno | Taxa de propagação |
|---|--------------------|
| Solo arenoso | 0,8 |
| Solo pedregoso | 0,4 |
| Solo terroso | 0,6 |
| Solo argiloso | 0,5 |
| Superfície de floresta | 0,5 |
| Superfície de campo | 0,8 |
| Superfície com zona agrícola | 0,7 |
| Lago (ar) | 0,8 |
| Lago (água) | 0,5 |
| Rio com correnteza para esquerda (ar) | 0,8 |
| Rio com correnteza para esquerda (água) | 0,9 |

| | |
|--|-----|
| Rio com correnteza para direita (ar) | 0,8 |
| Rio com correnteza para direita (água) | 0,9 |

Conhecendo a base teórica do processo, é possível se avançar para os passos seguintes a inicialização das matrizes de poluição. Primeiramente é disparada a execução da função de propagação da poluição pelo ar, a qual se utiliza de Autômatos Celulares com vizinhança de Von Neumann para espalhar a poluição sobre o mapa. Deste modo, iniciando-se pela célula central da indústria, cada célula propaga sua poluição para cada um de seus vizinhos e em seguida chama a função de propagação para cada um deles. O processo encerra-se assim que todas as células tiverem seus valores propagados.

O passo seguinte é iniciar a propagação pelo solo, porém devido à forte relação existente entre solo e água, é necessário que um ajuste nos mapas seja realizado antes de prosseguir a simulação. Este processo de adequação consiste em copiar todas as posições que contém água no mapa de superfície para as posições correspondentes no mapa de solo, sobrepondo os terrenos ali existentes. Este processo só é possível de ser realizado sem comprometer a veracidade da simulação pela propagação ocorrer em uma zona superficial do solo, o que faz com que em posições onde exista água a poluição propague por ela e não pelo solo.

Assim, inicia-se o processo de propagação da poluição pelo solo, utilizando um processo semelhante ao da propagação do ar, diferenciando-se pelo fato de avaliar as taxas de propagação do solo e de que quando um dos vizinhos da célula contiver água em seu terreno a função a ser chamada para ele é a de propagação na água, a qual será explicada a seguir.

Na propagação pela água, a primeira coisa a ser feita é analisar qual o terreno da célula a ser propagada, o qual pode ser um lago, rio com correnteza para direita ou rio com correnteza para esquerda. Para o primeiro caso, considera-se a vizinhança de Von Neumann para propagação da célula. Para o rio com correnteza para direita utiliza-se uma vizinhança arbitrária que considera as células imediatamente à direita, a direita superior e a direita inferior da célula como suas vizinhas. Já para o rio com correnteza para esquerda considera-se uma vizinhança exatamente contrária a do com correnteza para direita.

O restante do processo de propagação pela água é semelhante ao apresentado pelas funções de propagação pelo ar e pelo solo, primeiramente propaga-se a poluição para cada um dos vizinhos da célula analisada e em seguida chama-se a função de propagação necessária para cada um deles, a de propagação na água ou no solo.

Por fim, visando o processo pelo qual muitas vezes as fábricas construídas próximas de rios e lagos depositam neles seus dejetos e, portanto, os poluem diretamente, criou-se uma função que verifica se a uma distância máxima de quatro posições vertical ou horizontalmente do centro da indústria criada existe algum terreno com água. Se existir, este terreno será considerado um ponto de poluição, e será inicializado

com o mesmo valor de poluição existente no centro da fábrica.

Após realizar este processo a função de propagação da poluição na água é chamada para esta posição e depois de ter seu processo encerrado termina também a fase de simulação, apresentando para o usuário os mapas com as respectivas poluições propagadas, representando sua intensidade em tons de cinza. Estes mapas podem ser visualizados na Figura 5.

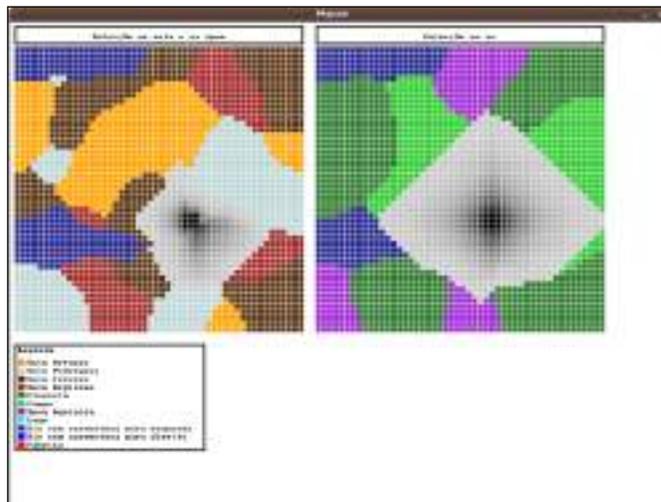


Figura 5 – Mapas após a propagação da poluição.

V. RESULTADOS E CONCLUSÕES FINAIS

Após observar algumas execuções da simulação de impactos ambientais sobre diferentes mapas algumas conclusões podem ser obtidas. Para demonstrá-las, os mapas apresentado na Figura 6 serão tomados como exemplo.

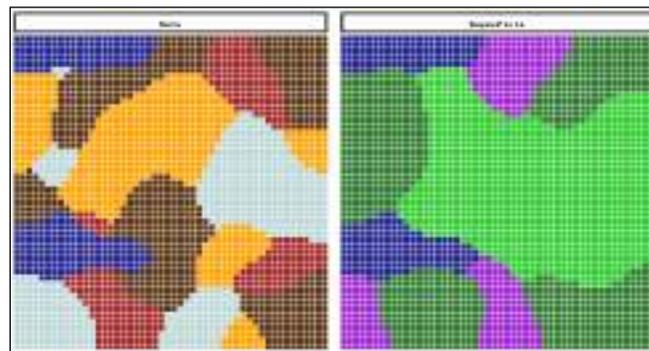


Figura 6 – Mapas exemplo.

A primeira conclusão clara é o efeito que os diferentes tipos de solo e superfície exercem sobre a propagação da poluição. Caso eles não exercessem diferentes intensidades de oposição, o padrão visto na onda de poluição que avança sobre o mapa seria semelhante ao encontrado quando um objeto cai sobre água parada, uma onda que avança para em todas as direções com a mesma força e velocidade. Desta forma, a poluição tomaria um formato que se assemelharia a um círculo, com centro sobre a indústria, a origem da poluição.

Para exemplificar o efeito obtido na simulação basta que se crie uma indústria em uma posição qualquer do mapa. Para

melhor visualizar os diferentes efeitos provocados pelos tipos de terrenos, os exemplos apresentados a seguir mostram a poluição gerada a partir de uma fábrica colocada sobre as posições [24,29] do mapa de solos e outra sobre a posição [35,23] do mapa de superfícies, as quais são intersecção de vários terrenos diferentes. A Figura 7 demonstra os resultados obtidos com estes testes.

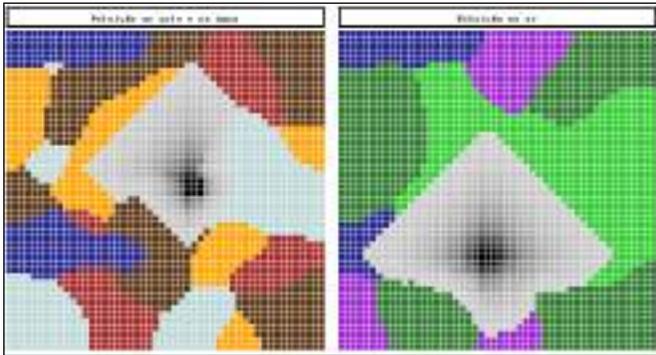


Figura 7 – Exemplos de propagação da poluição.

Comparando o mapa localizado na parte esquerda da Figura 7, ao mapa de solos encontrado na Figura 6 observa-se que a poluição se propagou com maior facilidade pelo solo arenoso do que pelos solos terroso e pedregoso, onde encontrou grande resistência. Assim, a onda de poluição ficou deformada, revelando um maior avanço dela para região noroeste do mapa. Já no mapa de superfícies observa-se que a poluição foi “barrada” pelas florestas e teve liberdade para avançar pelos campos localizados ao norte da fábrica.

Outro ponto a ser abordado é a relação entre quantidade de poluição gerada e o alcance dela sobre o mapa. Para terrenos em que a propagação é fácil observa-se claramente que com uma maior produção de poluentes uma maior faixa destes terrenos é infectada. Já para os locais onde a poluição tem dificuldades para avançar, o que ocorre é um aumento na concentração dos poluentes que seguem sem conseguir grande propagação. Assim, os impactos locais tornam-se mais intensos.

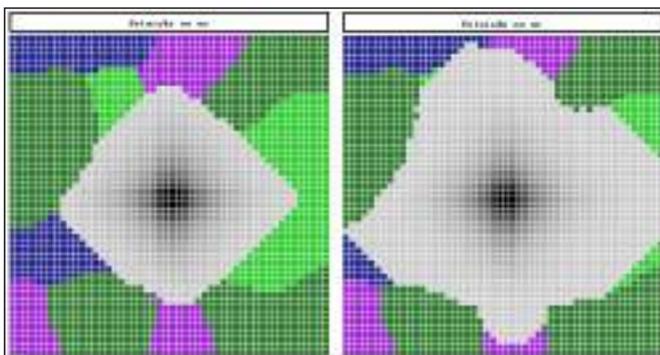


Figura 8 - Comparação entre fábricas pouco e muito poluentes

A Figura 8 apresenta os dois efeitos gerados a partir de uma fábrica criada no centro do mapa. À esquerda o mapa apresenta uma fábrica pouco poluente enquanto a direita uma indústria muito poluente é simulada. Observa-se que em terrenos de fácil propagação o crescimento da área tomada por

ela com o aumento de sua produção é alarmante. Para o mapa a direita quase toda a área deste terreno foi tomada pela poluição. Já em terrenos de menor propagação como florestas houve um menor avanço, embora em seu contorno a concentração de poluição tenha aumentado.

Por fim, um último ponto a ser tratado são os danos provocados pelo depósito direto de poluentes em rios e lagos. Embora qualquer tipo de poluição seja muito ruim, a poluição da água, principalmente de rios, aumenta muito o potencial da poluição de se expandir, afetando áreas muito maiores. Como dito anteriormente, o método de simulação adotado determina que fábricas criadas a uma pequena distância de terrenos com água depositem seus dejetos nestes locais. Assim, para demonstrar os efeitos gerados por essa ação, a Figura 9 foi gerada.

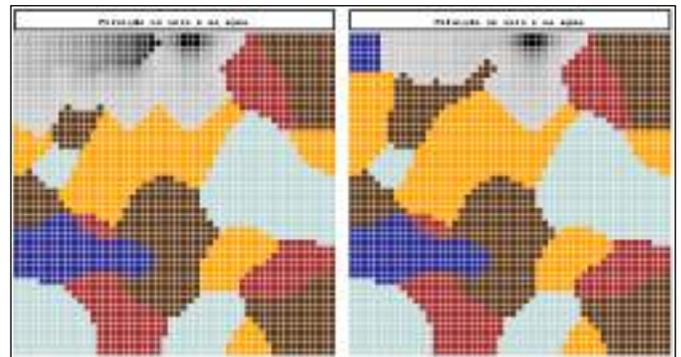


Figura 9 - Comparativo de indústrias que poluem ou não rios.

A Figura 9 apresenta dois mapas da poluição no solo. O primeiro apresenta uma fábrica que deposita seus poluentes diretamente em um rio com correnteza para esquerda. Já o outro mapa apresenta a simulação de uma indústria que não polui a água diretamente. Comparando-se os mapas, verifica-se o quanto a propagação da poluição foi maior no mapa em que a poluição foi gerada diretamente, tanto no próprio rio como nos terrenos que o cercam. Embora no mapa à direita a poluição gerada no solo também provoque impactos no rio, estes ocorrem em uma área menor e com menos intensidade se comparados aos gerados pela outra indústria.

Observando os resultados, pode-se concluir que em um mundo onde cada vez mais a taxa de crescimento da população aumenta gerando uma demanda de mais produtos e a consequente criação de novas indústrias, é fundamental que se restrinja o nível de poluentes liberados por elas, de modo que seja possível evitar que as poucas áreas hoje ainda livres de poluição sejam afetadas, bem como as já poluídas possam se regenerar.

REFERÊNCIAS

- [1] ADAMATTI, D. F.; AGUIAR, M. S. A Inteligência Artificial e o Gerenciamento de Recursos Naturais. In: MATTOS, J.; ROSA JR, L.; PILLA, M. Desafios e Avanços em Computação: O Estado da Arte. Pelotas: UFPel, 2009.

- [2] ARAÚJO JR., A. M. Impactos Ambientais. Julio Battisti, 2006. Disponível em: <<http://www.juliobattisti.com.br/tutoriais/arlindojunior/geografia036.asp>>. Acessado em: 2 de abril de 2012.
- [3] FULLER, M. M. et al. Computational Science for Natural Resource Management. In: FULLER, M. M., et al. Computing in Science & Engineering. [S.l.]: [s.n.], v. 9, 2007. Cap. 4, p. 40-48.
- [4] GREMONINI, L.; VICENTINI, E. Autômatos Celulares: Revisão Bibliográfica e exemplos de implementações. Revista Eletrônica Lato Sensu, Paraná, n. 6, 2008. ISSN 1980-6116.
- [5] HOLZMAN, B. A. Natural Resource Management, 2009. Disponível em: <<http://bss.sfsu.edu/holzman/courses/GEOG%20657/env%20history%20lecture.pdf>>. Acessado em: 2 de abril de 2012.
- [6] RAVEN, P.; BERG, L. Environmental. 4ª Edição. ed. Nova Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2004.
- [7] RUSSEL, S.; NORVIG, P. Artificial Intelligence: A modern Approach. 2ª Edição. ed. Nova Jersey: Prentice Hall, 2003.
- [8] SOARES, R. B. R. Impacto Ambiental. Programa Educ@ar - USP, 2000. Disponível em: <<http://educar.sc.usp.br/biologia/textos/impacto.htm>>. Acessado em 20 de outubro de 2010.
- [9] ZAMPIERON, S. L. M.; VIEIRA, J. L. D. A. Poluição da Água. Programa Educ@ar - USP, 2002. Disponível em: <http://educar.sc.usp.br/biologia/textos/m_a_txt5.html>. Acessado em: 3 de abril de 2012.