

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
DOUTORADO EM AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO

**AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DO SOLO POR METAIS TÓXICOS
(CÁDMIO, CROMO, CHUMBO E ALUMÍNIO) EM ESTANDES DE TIRO
NO ESTADO DO PARANÁ/BRASIL**

Valmir de Souza

Lajeado, setembro de 2016

Valmir de Souza

**AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DO SOLO POR METAIS TÓXICOS
(CÁDMIO, CROMO, CHUMBO E ALUMÍNIO) EM ESTANDES DE TIRO
NO ESTADO DO PARANÁ/BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do grau de Doutor em Ambiente e Desenvolvimento na área de concentração Tecnologia e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Odorico Konrad

Co-orientador: Prof. Dr. Affonso C. Gonçalves Jr.

Lajeado, setembro de 2016.

RESUMO

O objetivo da pesquisa foi mostrar os riscos a que estão expostos os profissionais de segurança pública quando do treinamento de tiro em estandes. A hipótese levantada e confirmada foi de que os solos dos locais de treinamento estão contaminados por metais tóxicos, em especial o chumbo. Diante disso, foram realizadas análises do solo de estandes de tiro da Polícia Militar do Paraná (PMPR), localizados nos municípios de Cascavel, Cruzeiro do Oeste e São José dos Pinhais, e também de dois estandes particulares em Marechal Cândido Rondon e Guaíra, através de levantamento de amostras em duas campanhas realizadas: uma no ano de 2013 e outra em 2015. Foram apurados os teores de chumbo (Pb), cromo (Cr), alumínio (Al) e cádmio (Cd), e verificado se havia índices de contaminação por esses metais, culminando com a apresentação do panorama atual dos estandes utilizados pelos policiais militares. O trabalho apresenta os resultados do monitoramento temporal do solo nos anos citados, consistindo na análise dos índices alcançados, obtendo-se, assim, os teores dos metais tendo em vista a deposição de projéteis de arma de fogo no solo dos estandes. Foi possível avaliar o grau de contaminação existente, confrontando com a determinação legal da Resolução 420/2009, do CONAMA, que estabelece os níveis aceitáveis ou não de metais no solo. Os resultados das análises dos níveis de metais permitiram estabelecer as condições ambientais dos solos dos estandes de tiro. Do levantamento, se concluiu que os teores de metais tóxicos encontrados nos solos dos estandes demandam atenção; como no caso do Pb, os resultados apresentam índices elevados, pois 60% das amostras ultrapassaram o Limite de Investigação estabelecido pela norma legal. Essa constatação sugere a pronta intervenção da PMPR e dos donos dos estandes

particulares nos locais pesquisados iniciando, de imediato, ações de remediação nas áreas já contaminadas com a elaboração de planos de manejo, a fim de se evitar o aumento da contaminação e a exposição ao risco dos atiradores, policiais militares e população da circunvizinhança.

Palavras-chave: contaminação; estande de tiro; metais tóxicos.

ABSTRACT

The objective of the research was to show the risks public safety professionals are exposed to when practicing at shooting ranges. The hypothesis which was tested and confirmed was that practicing areas' soils are contaminated by toxic metals, especially by lead. Therefore, soil analyzes were performed at shooting ranges owned by the Military Police of Paraná (MPPR), located in the cities of Cascavel, Cruzeiro do Oeste and São José dos Pinhais, also at two private shooting ranges located in Marechal Cândido Rondon and Guaíra. One sample was collected in 2013 and the other in 2015. The levels of lead (Pb), chromium (Cr), aluminum (Al) and cadmium (Cd) were valued, and it was checked if there were signs of contamination by these metals, culminating with the presentation of the current situation of the shooting ranges used by the militaries. The paper presents the results of the time monitoring of the soil in those years, consisting in analyzing the reached data, obtaining the metal levels once there is a constant deposition of firearm projectiles on the shooting range ground. It was possible to evaluate the degree of contamination, which was confronted with the legal determination of the Resolution 420/2009 of CONAMA, which establishes acceptable levels of metals in soils. The results of the metal levels' analysis made it possible to establish the environmental conditions of shooting ranges' soils. The study made concluded that the toxic metal levels found in the shooting ranges' soils demand attention; as in the example of Pb, which the the results showed high rates, 60% of the samples exceeded the limit set by the legal norm. This conclusion suggests the immediate intervention by MPPR and by the owners of the private shooting ranges tested, immediately starting to take actions over the already contaminated areas, elaborating management plans in order to avoid the increase of the contamination and the exposure of the militaries and surrounding population.

Keywords: contamination; shooting range; toxic metals.

DEDICATÓRIA

A meu pai João (*in memoriam*) e minha mãe Sebastiana que dignamente me oportunizaram o estudo.

AGRADECIMENTO

A Deus que me permite a vida.

À Professora Ada, da Escola Municipal Vereador André Nadolny, professora que me ensinou a ler e escrever.

A todos os professores e professoras que por minha vida passaram e me fizeram chegar até aqui.

A Cristiane, minha esposa e também professora, pelo amor incondicional, e pelo apoio, com certeza sem ela não seria possível esta conquista.

À Maria Clara e Ana Luiza, minhas filhas, pelo carinho, amor e compreensão quando da minha ausência.

Ao professor Odorico Korand, meu orientador, pela paciência, dedicação e zelo ao me ensinar bons caminhos da ciência e por me tolerar nos debates pessoais e online, obrigado pela motivação.

Ao professor Affonso Celso Gonçalves Junior, meu co-orientador, pela parceria, dedicação e companheirismo além das calorosas e gentis recepções no laboratório.

Ao meu amigo Ricardo Braga que foi parceiro nos trabalhos de campo e análises químicas.

Ao povo brasileiro que por meio da CAPES me garantiu cursar o Doutorado.

Aos funcionários do Programa de Pós Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, da biblioteca central da UNIVATES, em especial a Ana, e todos os demais servidores da instituição, pela presteza e gentileza no atendimento deste

aluno.

Aos funcionários e alunos do Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus de Marechal Cândido Rondon – PR, pela atenção e qualidade do trabalho prestado.

A todos os pesquisadores e estudiosos que serviram de inspiração e contribuíram com seus conhecimentos para a construção deste trabalho.

A todos os policiais militares que me ajudaram e me dirigiram palavras de incentivo para continuar no caminho da pesquisa.

A todas as pessoas que com certeza esqueci de mencionar, pois, foram e são inúmeras, que direta e indiretamente me ajudaram a alcançar este objetivo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Arma de fogo: pistola Marca Taurus, calibre .40, utilizada pela PMPR. ...	32
Figura 2 – Estrutura de um projétil de arma de fogo.	32
Figura 3 – Projéteis depositados no solo do estande de tiro da APMG.....	42
Figura 4 - Trado Holandês sendo utilizado durante a pesquisa.....	58
Figura 5 – Processo de coleta das amostras	60
Figura 6 – Mapa da localização dos estandes de tiro pesquisados no Estado do Paraná.....	61
Figura 7 - Descrição, georreferenciamento dos pontos de coleta do Estande de Marechal Candido Rondon.....	63
Figura 8 – Croqui do estande de tiro particular em Marechal Candido Rondon-PR..	63
Figura 09 - Descrição, georreferenciamento dos pontos de coleta do Estande de Guaíra	64
Figura 10 – Croqui do estande de tiro particular em Guaíra-PR.	65
Figura 11 – Local coberto por vegetação onde ao fundo se pode ver o barrando do estande desativado de Guaíra	65
Figura 12 - Descrição, georreferenciamento dos pontos de coleta do Estande de Cruzeiro do Oeste	66
Figura 13 – Croqui do estande de tiro da PMPR em Cruzeiro do Oeste-PR.....	67
Figura 14 – Barreira de pneus preenchida pelo solo do local do Estande de	

Cruzeiro do Oeste	67
Figura 15 - Descrição, georreferenciamento dos pontos de coleta do Estande de Cascavel.....	68
Figura 16 – Croqui do estande de tiro da PMPR em Cascavel-PR.	69
Figura 17 – Para-balas e barreira de pneus do Estande de Cascavel	70
Figura 18 – Vista da distribuição no terreno das áreas de coleta da APMG	71
Figura 19 – Croqui do estande de tiro desativado da PMPR na APMG, em São José dos Pinhais-PR.....	71
Figura 20 - Descrição, georreferenciamento dos pontos de coleta do Estande desativado da APMG.....	72
Figura 21 - Descrição, georreferenciamento dos pontos de coleta do Estande Principal da APMG	73
Figura 22 – Croqui do estande de tiro principal da PMPR na APMG, em São José dos Pinhais-PR.....	74
Figura 23 - Descrição, georreferenciamento dos pontos de coleta do Estande Principal da APMG	75
Figura 24 - Mapa simplificado de solos do Estado do Paraná	82
Figura 25 - Descrição, georreferenciamento dos pontos de coleta do Estande Principal da APMG - Manancial.....	98
Figura 26 – Projéteis depositados no solo do estande de tiro da APMG.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores médios dos teores de argila, silte, areia e capacidade de troca catiônica (CTC) das áreas de estande de tiro no estado do Paraná.	80
Tabela 2 - Valores orientadores de substâncias para solos e águas subterrâneas ...	84
Tabela 3 - Valores médios dos teores de Al, Cd, Pb e Cr das áreas do estande de tiro particular de Marechal Candido Rondon-PR.	85
Tabela 4 - Valores médios dos teores de Al, Cd, Pb e Cr das áreas do estande de tiro de tiro particular em Guaíra-PR.	88
Tabela 5 - Valores médios dos teores de Al, Cd, Pb e Cr das áreas do estande de tiro da PMPR em Cruzeiro do Oeste-PR.	91
Tabela 6 - Valores médios dos teores de Al, Cd, Pb e Cr das áreas do estande de tiro da PMPR em Cascavel-PR.	93
Tabela 7- Valores médios dos teores de Al, Cd, Pb e Cr das áreas do estande de tiro da PMPR (desativado) na APMG em São José dos Pinhais-PR.	96

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resultados análise especial estande Marechal Cândido Rondon	87
Gráfico 2 – Resultados análise especial estande Guaíra	89
Gráfico 3 – Resultados análise especial estande Cruzeiro do Oeste	92
Gráfico 4 – Resultados análise especial estande Cascavel	95
Gráfico 5 – Resultados análise especial estande APMG Desativado	97
Gráfico 6 – Resultados análise especial estande APMG Principal	100
Gráfico 7 – Comparativo dos resultados dos estandes pesquisados em relação aos Valores de Investigação.	107

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACI - Área Contaminada sob Intervenção

Al - Alumínio

AMR - Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação

AOAC - Associação Oficial de Química Analítica

B - Boro

Ca – Cálcio

Cd – Cádmiio

CERCLA - Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CF - Constituição Federal

CFSd - Curso de formação de soldados

Cl - Cloro

Co – Cobalto

Codevasf- Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

Cr - Cromo

CSM/MOP - Centro de Suprimento e Manutenção de Material Operacional

CSM-Int - Centro de Suprimento e Manutenção de Intendência

CSM-MB - Centro de Suprimento e Manutenção de Material Bélico

CSM-O - Centro de Suprimento e Manutenção de Obras

CSP - Curso Superior de Polícia
CTC - capacidade de troca catiônica
Cu – Cobre
DOD - Departamento de Defesa dos Estados Unidos.
EB - Exército Brasileiro
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
EUA - Estados Unidos
Fe - Ferro
gr - Grain
GSR – *Guns hot residues*
IAP - Instituto Ambiental do Paraná
K - Potássio
LI – Limite de Investigação
LQ - Limite de quantificação
Mg – Magnésio
MMRP - Programa de Resposta de Munições Militares
Mn - Manganês
Mo - Molibdênio
N - Nitrogênio
NBR - Norma Brasileira
Ni - Níquel
ONU - Organização das Nações Unidas
P - Fósforo
Pb – chumbo
PCRJ - Polícia Civil do Rio de Janeiro
PM - Polícia Militar
PMPR - Polícia Militar do Paraná
PNMA - Política Nacional do Meio Ambiente
S - Enxofre
Sb - Antimônio
SEAV - Setor Especial de Áreas Verdes
SPT - *Standard Penetration Test*

UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná

USACE - US Army Corps of Engineers

VRQs - Valores de Referência de Qualidade

ZEI - Zona Especial Institucional

Zn - Zinco

ZR1 - Zona Residencial 1

ZR3 - Zona Residencial 3

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Justificativa	21
1.2 Objetivo geral.....	22
1.3 Objetivos específicos	22
2 REFERENCIAL TEÓRICO	24
2.1 A PMPR – qualidade do serviço, treinamento, arma de fogo e resíduos contaminantes.....	24
2.2 Polícia e arma de fogo – contaminação e poluição	30
2.3 A proteção ambiental – breve relato da evolução no tempo	35
2.4 Metais tóxicos, metais pesados – conceitos, contaminação e consequências	40
2.5 Influência do Cd na saúde humana e meio ambiente.....	43
2.6 Influência do Cr na saúde humana e meio ambiente	44
2.7 Influência do Pb na saúde humana e meio ambiente.....	45
2.8 Influência do Al na saúde humana e meio ambiente	48
2.9 Estandes de tiro – prováveis fontes de contaminação	49
2.10 Normas ambientais – regulamentação do CONAMA	51
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	55
3.1 Métodos e ferramentas – amostragem	55
3.2 Métodos e ferramentas – determinação dos pontos de coleta	57
3.3 Estandes de tiro objetos da pesquisa	61
3.3.1 Estande de tiro particular em Marechal Candido Rondon-PR	62
3.3.2 Estande de tiro particular (desativado) em Guaíra-PR.....	64
3.3.3 Estande de tiro da PMPR em Cruzeiro do Oeste-PR.....	66

3.3.4 Estande de tiro da PMPR em Cascavel-PR	68
3.3.5 Estande de tiro da PMPR na APMG em São José dos Pinhais-PR.....	70
3.4 Determinação dos teores totais dos metais tóxicos	75
3.5 Análise químicas e físicas (granulometria) do solo.....	76
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
4.1 Teores totais dos elementos tóxicos no solo	78
4.2 Resultados obtidos a partir das determinações de metais (Cr, Cr, Pb e Al) dos estandes de tiros analisados	84
4.2.1 Estande de tiro particular em Marechal Candido Rondon-PR .	84
4.2.2 Estande de tiro particular (desativado) em Guaíra-PR.....	88
4.2.3 Estande de tiro da PMPR em Cruzeiro do Oeste-PR.....	90
4.2.4 Estande de tiro da PMPR em Cascavel-PR	92
4.2.5 Estande de tiro desativado da PMPR na APMG em São José dos Pinhais-PR.....	95
4.2.6 Estande de tiro em atividade da PMPR na APMG em São José dos Pinhais-PR	98
4.2.7 Estande de tiro secundário da APMG/PMPR em São José dos Pinhais-PR.....	102
5 CONSTATAÇÕES, INFERÊNCIAS E SUGESTÕES.....	104
6 CONCLUSÃO	114
REFERÊNCIAS	117
ANEXOS	130

1 INTRODUÇÃO

A Polícia Militar (PM), por meio de seus agentes, se constitui no “braço armado” do Estado que detém, por questões legais, o monopólio do uso legítimo da força quando exista um descumprimento da ordem legal vigente. Assim, o uso de arma de fogo é um requisito inerente ao policial militar, que, muitas vezes, se vê diante de situações-limite que requerem decisões acertadas em frações de segundo.

A atividade policial militar é de risco. Desse modo, a utilização de uma arma de fogo requer uma qualificação profissional adequada. Nesse contexto, os policiais militares, para a utilização de armas de fogo, necessitam de um treinamento que exige muito conhecimento técnico.

Os treinamentos se dão pela execução de disparos com as armas utilizadas pela corporação, como meio de se qualificar o profissional de segurança pública. Esses treinamentos são parte da formação dos policiais militares e se prolongam ao longo da carreira como ferramenta contínua de qualificação profissional.

Em regra geral, e no caso específico da Polícia Militar do Paraná (PMPR), no momento da prática do treinamento, os policiais utilizam, em suas armas, munição real, a qual é, geralmente, composta de projéteis de chumbo (Pb), que, ao serem disparados, se depositam nos barrancos, localizados nos estandes de tiro,

levantados para servirem de anteparo, sejam em estandes particulares ou pertencentes à PMPR.

Em termos comparativos, nos Estados Unidos (EUA), onde há estudos consistentes sobre disparos de arma de fogo, existem mais de 3.000 armas pequenas de uso militar ativas em estandes de tiro, e estima-se que aproximadamente 70.000 toneladas de Pb são adicionados aos solos dos estandes por ano (MARIUSSEN *et al.*, 2012).

A necessidade de treinamento constante com a aplicação de técnicas que exigem a repetição quase que exaustiva do disparo real de arma de fogo acarreta a produção de um grande volume de resíduo de Pb acumulado nos barrancos dos estandes de tiro. O que se aduz a *priore* é que esses resíduos produzam um impacto ambiental¹. E, como Pb, é um metal pesado que pode apresentar consequências danosas aos seres vivos, há que existir um controle de suas fontes de emissão, como é o caso dos treinamentos de tiro da PMPR. Um estudo sobre a utilização de armas de pequeno porte em estandes de tiro das forças militares no Canadá demonstrou a contaminação elevada com cobre (Cu), Pb, antimônio (Sb) e zinco (Zn) (LAFOND *et al.*, 2013).

No levantamento prévio feito nesta pesquisa não se encontrou normatização que regulamente o tratamento ambiental de tais resíduos produzidos durante os treinamentos de tiro da PMPR. Não existem normas disciplinadoras que determinem a gestão de resíduos sólidos, em especial o Pb, ou, ainda, um monitoramento sobre os níveis de concentração do referido metal no solo dos estandes de tiro.

Percebe-se que esses treinamentos reais de tiro, feitos em estandes de tiro, ao que tudo indica, não primam pela preservação do meio ambiente, pois os locais são, de certa forma, adaptados para o fim a que se destinam, menosprezando a

¹ Conforme a Resolução nº 001/86 do CONAMA, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais.

possibilidade de contaminação do solo por substâncias tóxicas, em especial, metais pesados (BVENURA & AFOLAYAN, 2012).

Os treinamentos para emprego das armas de fogo se dão nos estandes de tiro da corporação e estandes de tiro particulares localizados em diversos municípios do Estado do Paraná. Para o treinamento, são utilizadas munições reais cujos projéteis são compostos de Pb, lançados contra os “barrancos” dos estandes de tiro. Por ficarem depositados no solo, são, em tese, uma fonte de contaminação, o que despertou o interesse de estudo do presente trabalho.

A pesquisa estudou os níveis de metais tóxicos provenientes de projéteis de arma de fogo no solo de determinados estandes de tiro particulares e da PMPR, em cinco regiões do Estado do Paraná.

Atualmente há questões que não possuem respostas, como, por exemplo: os estandes de tiro da PMPR representam risco aos policiais que os utilizam? Representam risco à comunidade localizada no seu entorno? Os estandes de tiro da PMPR são fonte de contaminação para o meio ambiente? Caso exista contaminação, qual o nível em que se encontra? Se existentes, os níveis de contaminação estão dentro dos parâmetros legais? Existe regulamentação que determine o controle e monitoramento dos estandes de tiro? Há estudo ou existe determinação para a recuperação das áreas de estande de tiro degradadas?

Diante desse cenário, a hipótese é que os estandes de tiro da PMPR, e também os particulares, são fontes de contaminação do solo em níveis superiores aos permitidos pela legislação em vigor, no caso a Resolução 420/2009 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). E, atualmente, para os estandes de tiro, não há controle ambiental adequado dos resíduos produzidos pelos treinamentos, considerando-se que, quanto maior for a utilização e a deposição de projéteis de Pb no solo dos estandes de tiro, maior (*in tese*) será a contaminação, não só do solo, mas também das águas superficiais e subterrâneas da região do entorno.

Seguindo um roteiro proposto na introdução é apresentada a justificativa que

deu base ao presente trabalho, destacando a importância da pesquisa inédita no âmbito da gestão ambiental no que diz respeito à contaminação do solo por metais tóxicos nos estandes de tiro da PMPR.

O segundo capítulo apresentará o referencial teórico sobre o tema, discorrerá sobre a atual legislação e os aspectos ambientais. Exibirá ao leitor as características e efeitos, sobre o ambiente e seres humanos, dos metais tóxicos, com embasamento em autores que já pesquisaram o tema.

O terceiro capítulo trará o procedimento metodológico que foi utilizado para realização da pesquisa, demonstrando quais foram os estandes pesquisados, determinando suas localizações e características. Esclarecerá que a amostragem foi realizada com base na metodologia proposta pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), além de similaridade com as diretrizes da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) 2000/2003. Além disso, deixa claro que as amostras de solo coletadas foram encaminhadas para o Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus de Marechal Cândido Rondon - PR, para a realização das análises propostas.

O quarto capítulo apresentará os resultados encontrados trazendo ao leitor a discussão desenvolvida. Será apresentado um debate intenso acerca dos índices obtidos em laboratório em confronto com as determinações legais da Resolução 420/2009 do CONAMA. Serão apresentadas as considerações sobre os valores de análise de rotina, análise de micronutrientes, análise granulométrica e análise especial. Esta última apresentará os valores dos seguintes metais: alumínio (Al), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e cromo (Cr). Finalizando o capítulo, demonstrar-se-á se a hipótese levantada sobre a contaminação dos estandes foi ou não comprovada.

No quinto capítulo, serão apresentadas as constatações, inferências e sugestões deduzidas a partir dos resultados obtidos. Será, também, exposta uma abordagem atual das disposições nacionais e internacionais, no que tange à gestão inovadora de estandes de tiro, como forma de contribuição para uma melhoria na administração dos espaços pesquisados.

Por fim, serão declaradas as conclusões sobre todo o levantamento feito no presente trabalho

1.1 Justificativa

O tema da segurança pública conquista cada vez mais a atenção de pesquisadores, que demonstram, em grande parte, certa preocupação tanto com o estudo do funcionamento desarmonioso da sociedade, como com a falta de condições para a preservação da ordem pública. Tudo com ênfase na concentração da criminalidade nos grandes centros urbanos, assunto de relevante importância nas sociedades contemporâneas em cujo cenário a polícia tem papel de destaque (PASSOS, 2011).

Ao observar o funcionamento de um estande de tiro, em que policiais realizam treinamento com suas armas de fogo disparando contra barrancos onde ficam depositados os projéteis compostos de chumbo, surgiu o questionamento: há contaminação do solo?

O chumbo é um metal tóxicos que causa graves problemas à saúde humana, portanto, estudar seus efeitos no solo dos estandes de tiro é de suma importância para impedir danos ao meio ambiente e aos usuários destes locais.

O fato de existirem estandes sem um manejo adequado dos projéteis acumulados no solo suscitou a dúvida motivadora da pesquisa. Compreender os processos que geram resíduos de Pb, e demais metais tóxicos, provenientes dos disparos de armas de fogo de policiais militares em treinamento, se tornou imperativo para uma boa gestão dos estandes de tiro da PMPR e particulares.

A base da justificativa do presente estudo pode ser verificada na contradição entre o dever de proteger e a ação de contaminar o solo decorrente do treinamento (essencial à qualificação profissional) dos policiais militares com munição de projétil de Pb. Ressalta-se que esta atividade se dá, a priori, sem qualquer preocupação e regulamentação específica que vise controlar e monitorar as áreas sob o risco de

contaminação, viabilizando, ao menos, alguma ação de remediação.

A pesquisa se torna relevante ao buscar e apresentar dados que possam demonstrar a real situação de áreas potencialmente contaminadas por metais tóxicos, especialmente o Pb.

No tocante à saúde pública, tais dados são de fundamental importância para a proteção dos policiais militares que utilizam os estandes de tiro, bem como da comunidade que vive no entorno destes locais, e é atingida, direta ou indiretamente, pela contaminação.

Além do ineditismo, o trabalho contribuirá para a formulação de normas de gestão das referidas áreas e fornecerá subsídios para estabelecer políticas públicas, visando ao enfrentamento do problema relacionado à contaminação. Assim, contribuirá também para alertar os responsáveis pela PMPR (também dos estandes particulares) sobre a importância do monitoramento dos estandes de tiro no que concerne à contaminação e ao manejo ambiental adequado.

1.2 Objetivo geral

O estudo em questão apresenta como objetivo geral avaliar os teores e distribuição dos metais tóxicos: cádmio (Cd), cromo (Cr), Pb, alumínio (Al) no solo de cinco estandes de tiro (três da PMPR e dois particulares), definindo parâmetros que permitam estabelecer níveis de contaminação nas referidas áreas pela disposição dos projéteis de Pb disparados por armas de fogo.

1.3 Objetivos específicos

No que tange aos objetivos específicos, o trabalho procurou:

- Caracterizar os parâmetros físicos e químicos dos solos onde estão situados

os estandes de tiro analisados na pesquisa;

- Apresentar a distribuição e a concentração das variações de metais tóxicos nos estandes de tiro envolvidos na pesquisa;

- Identificar se os estandes de tiro pesquisados são possíveis fontes de contaminação do solo, avaliando o efeito da deposição de projéteis de Pb disparados por arma de fogo nesses locais;

- Discutir os resultados obtidos, sugerindo propostas para uma nova gestão dos resíduos sólidos encontrados nos estandes de tiro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é descrita a revisão bibliográfica sobre o tema apresentando a estrutura básica de funcionamento da PMPR, tratando da importância da qualidade do serviço prestado, bem como da necessidade de treinamento com arma de fogo e conseqüentemente a existência de resíduos contaminantes. Ainda tratará da proteção ambiental ao longo do tempo, relacionando a dinâmica dos metais tóxicos apontando os principais aspectos toxicológicos e a influência na saúde humana e meio ambiente do Cd, Cr, Pb e Al. Derradeiramente aborda descritivamente a questão da contaminação dos estandes de tiro apresentando ao final a legislação e os aspectos ambientais contidos em normas ambientais e em especial na regulamentação do CONAMA.

2.1 A PMPR – qualidade do serviço, treinamento, arma de fogo e resíduos contaminantes

A temática da segurança pública encontra-se entre os direitos e garantias fundamentais descritos no caput do artigo 5º Constituição Federal (CF) (MARCHI, 2010). A concretização dos direitos fundamentais numa sociedade democrática tem relação direta com a aplicação da lei no cotidiano social. Infere-se, no entanto, que a aplicação da lei apenas efetiva-se de forma justa quando da existência de organismos policiais cientes do seu papel de protetor da ordem constitucional. Desta feita, houve um aperfeiçoamento constitucional e os direitos humanos

evoluíram juntamente com a polícia, exigindo uma adequação à nova realidade, o que gerou transformações em benefício da sociedade (MARCHI, 2010).

A consciência policial é representada pela formação cidadã do agente estatal, processo de formação que se dá pelo treinamento. Basílio (2008) destaca que a função do treinamento policial é capacitar o agente policial para o trabalho diário. Se o treinamento estiver em desacordo com os ditames constitucionais de respeito aos direitos fundamentais, ter-se-á uma organização policial repressora cujas consequências são perniciosas para a democracia. Assim, a formação do policial é fundamental para a construção e efetivação dos direitos fundamentais do cidadão. O exercício de segurança nas condições de cidadania plena foi, e ainda é, muito discutido por diversos autores na contemporaneidade (COSTA, 2005).

A percepção que se tem é de que uma mudança está em curso quando da aplicação de novos modelos de policiamento, com uma vertente mais dedicada aos anseios das comunidades locais. A mudança de foco na atuação dos organismos policiais depende, em boa medida, de um treinamento eficaz que transmita informação, desenvolva habilidades, atitudes e conceitos, com vista a uma adequada formação do policial (BASILIO, 2008).

Novas iniciativas de formação por meio da inovação, como, por exemplo, o ensino a distância, têm o potencial de beneficiar o policiamento e melhorar a segurança pública (MUGFORD, *et al.*, 2013). Porém, a tônica apresentada nos modelos atuais de policiamento realizados pelas Polícias Militares Brasileiras ainda possui uma enorme força repressiva. Segundo Basílio (2008), em uma política de segurança repressiva, os policiais são formados para atuarem de forma reativa.

A melhoria da qualidade dos serviços prestados pela PMPR, ao que tudo indica, e pelo discurso empírico, depende de ações que facilitem uma formação sociocultural e profissional de maior nível, aliada a políticas que respeitem e concretizem o direito de todos à educação, coadunada com os ditames de um estado democrático de direito (ORTEGA, 2015).

Desse modo, possuir, em seus quadros, policiais com uma formação

qualificada fará com que uma instituição de segurança pública possa fornecer ao cidadão um serviço de boa qualidade. Com agentes bem preparados, a função primordial de guardar os mandamentos constitucionais se completará pela formação qualificada e continuada (LUIZ, 2008).

Em um país onde o senso comum vislumbra uma formação policial precária e corrompida, o fortalecimento de iniciativas ou mesmo de políticas públicas voltadas ao resgate da imagem da polícia é fundamental para a reestruturação do modelo de formação e qualificação profissional. O ensino policial necessita ser voltado a uma formação profissional que atenda aos anseios do cidadão que será atendido e do policial que realizará a atividade de policiamento. Uma formação qualificada, para que o agente policial possa exercer suas funções com excelência, é essencial para o fortalecimento da estrutura educacional da própria instituição (LUIZ, 2008)

Diante do cenário acima apresentado, algumas discussões acerca da formação do profissional de segurança pública afloram. Um qualificado agente público de segurança passa por treinamentos teóricos e práticos, pois deve haver um equilíbrio entre o intelecto e o físico. No que concerne à parte física do treinamento, além de habilidades como correr e saltar, os policiais devem saber atirar com suas armas de fogo (PERSSON, 2011).

A utilização de armas de fogo exige habilidade, destreza e treinamento apropriado, pois o emprego inadequado pode gerar danos irreparáveis, como a perda de vidas humanas. Assim, há necessidade de constante treinamento haja vista a necessidade de preparar o policial para oferecer uma resposta coerente, em uma situação que envolve estresse e medo, e que sua conduta seja capaz de proteger a própria vida e a de terceiros, mantendo a coerência com as normas e a ordem social (PINC, 2011).

O treinamento com arma de fogo pode ser simulado ou real. No caso simulado, o policial pode realizar diversos exercícios que não exigem o disparo da arma de fogo propriamente dito. Já no caso do treinamento real, o agente deve efetuar disparos com o armamento apropriado. Nesse caso, as instituições policiais

utilizam-se dos chamados estandes de tiro (locais devidamente reservados para a prática do tiro real) onde os policiais realizam os treinamentos fazendo disparos com suas armas de fogo².

Em geral, esses estandes de tiro são locais abertos, cercados por muros de alvenaria. São também levantados barrancos de terra, que servem de anteparo para os tiros disparados pelas armas de fogo. Mas, mesmo sendo os estandes de tiro instalados, muitas vezes, em locais afastados, a prática do tiro expõe ao risco seus praticantes por uma série de aspectos, dentre os quais destaca-se a exposição ao ruído causado pelas de armas de fogo, que é um fator de risco estabelecido (CHOI *et al.*, 2012).

Em se tratando de resíduos, até mesmo os orgânicos, se convertem em problema quando descartados de forma inadequada. Essa desatenção, em muitos casos, traz o acúmulo de resíduos (lixo) em áreas impróprias, podendo gerar contaminação do solo e águas, bem como causar desconforto aos moradores, gerando e atraindo insetos e outros animais, potenciais transmissores de doenças, entre outros processos de poluição ambiental (HOEHNE *et al.*, 2012).

Após o disparo de arma de fogo propriamente dito, grande parte dos resíduos é proveniente do cano da arma, resultado de partículas queimadas e não queimadas da pólvora, consistindo em compostos orgânicos e de metal, tal como Pb, Cu, latão, níquel ou de material de encamisamento (TRIMPE, 2011).

Resíduos, no caso dos projéteis de arma de fogo, que se convertem em um passivo ambiental que tende à contaminação do solo das áreas dos estandes de tiro. O acúmulo de Pb, com a sua conseqüente deposição no solo, pode levar graves implicações ao ecossistema e aos seres humanos (PERES & MOREIRA; 2003).

Estudo realizado na Dinamarca mostrou que uma grande parte (quase 60%) dos atiradores de estandes de tiro fechados naquele país tinham concentrações de

² Constatação *in loco* em vários municípios onde estão localizadas as unidades da PMPR.

Pb no sangue potencialmente prejudiciais (GRANDAHN, *et al.*, 2012).

Os resultados encontrados sobre os teores dos metais analisados neste trabalho poderão contribuir para a formação de uma base de dados, bem como para o estabelecimento de normas de controle e manejo ambiental dos estandes de tiro da PMPR, diminuindo o potencial de risco relativo à contaminação do solo por metais tóxicos. Isso, pois, avaliar o risco representado pela contaminação do solo urbano para a saúde humana é uma questão crítica na pesquisa acadêmica e políticas públicas (BI *et al.*, 2013).

Ademais, no que tange à legislação, a PMPR, conforme a Lei 16.575 - 28 de Setembro de 2010, é “instituição permanente, força auxiliar e reserva do Exército Brasileiro (EB), organizada com base na hierarquia e na disciplina, destina-se à preservação da ordem pública, à polícia ostensiva, à execução de atividades de defesa civil”. Assim, exerce também atividade de fiscalização e proteção ao meio ambiente.

A PMPR, como todas as outras polícias militares brasileiras, são reguladas pelo Art. 144, § 5º, da CF, sendo responsáveis pelo policiamento ostensivo e preventivo, cabendo a elas a função de polícia administrativa (SOUZA, 2006).

A estrutura da Polícia Militar Paranaense divide-se em órgãos de direção, órgãos de apoio e órgãos de execução. Os órgãos de direção compõem o Comando-Geral da Corporação, que compreende: Comandante-Geral; Subcomandante-Geral; Estado-Maior; Corregedoria-Geral; Diretorias; Gabinete do Comandante-Geral; Comissões; Conselho Econômico e Financeiro; Assessorias Militares; Consultoria Jurídica (PARANÁ, 2010).

Os órgãos de apoio, por sua vez, realizam as atividades-meio da Corporação, atendendo às necessidades de pessoal, de semoventes e de material de toda a Polícia Militar, atuando em cumprimento das diretrizes e ordens dos órgãos de direção (PARANÁ, 2010).

Dentre os órgãos de apoio, a Diretoria de Apoio Logístico possui, em sua

subestrutura, o Centro de Suprimento e Manutenção de Intendência (CSM-Int), o Centro de Suprimento e Manutenção de Material Bélico (CSM-MB) e o Centro de Suprimento e Manutenção de Obras (CSM-O), responsáveis pela aquisição, recebimento, armazenagem, distribuição e controle de suprimentos, veículos, armamentos e munições, bem como pela execução, fiscalização, manutenção e controle das edificações e obras da Corporação (PARANÁ, 2010).

O Centro de Suprimento e Manutenção de Material Operacional (CSM/MOP) é o órgão incumbido do recebimento, da estocagem, da distribuição dos suprimentos e da execução da manutenção no que concerne ao armamento e munição, ao material de comunicações, ao material de motomecanização e ao material especializado de bombeiros (PARANÁ, 2010).

Segundo a legislação, os órgãos de execução são constituídos pelas unidades operacionais da Corporação e realizam as atividades-fim da PMPR; cumprem as missões ou a destinação da Corporação. Para isso, executam as diretrizes e ordens emanadas dos órgãos de direção e são apoiados, em suas necessidades de pessoal, de semoventes, de material e de serviços, pelos órgãos de apoio (PARANÁ, 2010).

A possibilidade de contaminação do solo pela ação de agentes da PMPR (por meio do treinamento de tiro nos estandes de tiro sob sua responsabilidade) não pode ser admissível em uma instituição que tem por dever a proteção do meio ambiente por suas ações de fiscalização dado que, dentre os órgãos de execução, a PMPR possui o Batalhão de Polícia Ambiental, encarregada do policiamento ostensivo, visando ao cumprimento dos dispositivos legais na proteção da fauna, da flora e do meio ambiente (PARANÁ, 2010).

A exigência de uma nova postura que conceba a preservação do meio ambiente é uma tendência nas corporações privadas e também no âmbito público. Num exemplo recente, o governador da Flórida, nos EUA, emitiu decreto exigindo que todos os órgãos estaduais realizem as suas reuniões em hotéis com certificação ambiental, determinando aos servidores do Estado que se utilizem hotéis com 'certificados-verdes' para atividades oficiais (PARSA *et al.*, 2014).

Retomando a pesquisa da Lei 16.575, não se identificou em seu bojo o órgão responsável pelo descarte ou reuso do material bélico ou munição utilizados pela PMPR, tampouco normas internas que regulamentem o tratamento ambiental dos resíduos produzidos após os treinamentos, ou diretrizes que estabeleçam cuidados e controle dos espaços físicos dos estandes de tiro no que concerne à poluição e contaminação por metais tóxicos³.

2.2 Polícia e arma de fogo – contaminação e poluição

Conforme o Decreto-Lei nº 667, de 2 de julho de 1969, compete às Polícias Militares, executar com exclusividade, o policiamento ostensivo fardado, planejado pela autoridade competente, a fim de assegurar o cumprimento da lei, a manutenção da ordem pública e o exercício dos poderes constituídos (BRASIL, Decreto-Lei nº 667, 1969).

No estado do Paraná, a PMPR é o órgão responsável pelo policiamento ostensivo fardado em todo território paranaense. Policiamento ostensivo é aquele em que o policial, isoladamente ou em grupo, pode ser reconhecido de relance, quer pelo fardamento utilizado, quer pelo armamento ou pela própria viatura (ROCHA, 2009). Para tanto, além de utilizar um fardamento que os identifique imediatamente, os policiais militares fazem uso de armas de fogo, as quais, no entanto, podem contaminar o meio ambiente ou, até mesmo, poluí-lo (CHOI *et al.*, 2012).

Nesse sentido, compreende-se contaminação como parte de um processo de poluição; refere-se à transmissão de substâncias ou microorganismos nocivos à saúde, sua constatação não implica necessariamente um desequilíbrio ecológico (BRAGA, *et al.* 2002). E, conforme a Lei 6.938/81, poluição é a degradação da

³ Foram pesquisados os arquivos legislativos da PMPR, não sendo encontradas normas relativas ao tema.

qualidade ambiental resultante de atividades que, direta ou indiretamente, prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população ou lancem matérias em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Já a Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos define em seu artigo 3º, inciso III, que área contaminada é local onde há contaminação causada pela disposição, regular ou irregular, de quaisquer substâncias ou resíduos. A citada lei define ainda o que resíduos sólidos são material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, Lei 12.305, 2010).

Para se chegar à conclusão de que arma de fogo pode contaminar ou até poluir o meio ambiente, há que se conhecer o funcionamento da ferramenta. Arma de fogo pode ser entendida como uma máquina térmica, cuja utilização independe da força física (excetuando a força relacionada ao pressionamento do gatilho) e, como não poderia deixar de ser, baseia-se nos princípios da termodinâmica (CHEMELLO, 2007).

As armas de fogo (Figura 1) utilizadas pelos policiais militares podem ainda ser definidas como artefatos de arremesso que empregam a força expansiva dos gases resultantes da combustão da pólvora para expelir seus projéteis (GEORG; KELNER e SILVINO JR, 2011).

Figura 1 – Arma de fogo: pistola Marca Taurus, calibre .40, utilizada pela PMPR.



Fonte: <http://www.taurusarmas.com.br>, acessado em 12 abr. 13.

Os integrantes da Polícia Militar utilizam diversos equipamentos, como cassetetes e algemas, que não se constituem em arma de fogo. Todavia, com as armas de fogo, é utilizada munição (Figura 2), artefato completo, pronto para carregamento e disparo de uma arma, ou seja, são corpos carregados com explosivos ou agentes químicos destinados a produzir danos (BRUM, 2010).

Figura 2 – Estrutura de um projétil de arma de fogo.



Fonte: CHEMELLO, 2007, com adaptação do autor.

O conceito de munição ainda considera 'os tiros de exercício, que não possuem carga de explosão, mas apenas de lançamento, tiros de salva, utilizados

em cerimônias militares', mesmo que só produzam ruído e há, ainda, 'munição de festim utilizada nos treinamentos da tropa' (BRUM, 2010).

No caso do trabalho diário dos policiais militares, é utilizada, em suas armas, o que se conceitua de munição letal, caracterizada em usinados com preenchimento do estojo provido de iniciador (espoleta) de fogo central ou anular, com carga propelente e projétil sólido (ARAÚJO, 2007).

Assim, quatro elementos básicos compõem a estrutura da munição: estojo, mistura iniciadora, pólvora e projétil (ou conjunto bucha + bagos de Pb, nos cartuchos de caça) (ANDRADE, 2005).

Ao ser disparada uma arma de fogo são produzidas, dentro do cartucho, partículas provenientes de resíduos da espoleta, do propelente e metais dos projéteis e da própria arma, pois, no ato do disparo, o detonador golpeia a espoleta e o calor da combustão (carga de inflamação) derrete a mistura iniciadora ou *primer* (FREITAS, 2010; ROMAO, *et al.*, 2011).

As munições letais possuem, nos cartuchos, 'misturas iniciadoras à base de estifinato de Pb [PbOH(NO)], nitrato de bário, trissulfeto de antimônio, tetrazeno e Al.' (CHEMELLO, 2007). As composições de pólvora e mistura iniciadora nas munições podem ser diferentes, seja pela simples desigualdade na proporção entre ingredientes ou na própria composição (SALLES, 2011).

Essa mistura iniciadora é responsável por deflagrar a combustão da pólvora (carga de projeção) contida no estojo em função de uma deformação da cápsula de espoletamento que quebra os cristais de estifinato de Pb (composto explosivo), um oxidante (nitrato de bário, dióxido de Pb ou nitrato de Pb), um combustível (trissulfeto de antimônio ou siliceto de cálcio), sensibilizantes (trinitrotolueno, tetraceno) e aglutinantes (goma-arábica, resinas celofane e goma-laca) (FREITAS, 2010; ROMAO, *et al.*, 2011).

A dinâmica do funcionamento de um disparo de arma de fogo pode ser descrito da seguinte maneira:

A expansão gasosa ocorre pela região anterior do cano da arma, orientada para frente; contudo, parte do fluxo de massa gasosa é expelido pela região posterior da arma. Este fluxo contém os gases provenientes da combustão (CO_2 e SO_2), assim como vários compostos inorgânicos, como nitrito, nitrato, cátions de metais como chumbo (Pb), antimônio (Sb) e, particulados metálicos oriundos do atrito e da subsequente fragmentação dos projéteis metálicos disparados (BORGES, p. 47, 2013).

Conforme Martiny e Pinto (2008), uma grande quantidade de vapor contendo material particulado é gerada quando do disparo por uma arma de fogo. Esse vapor é expelido pelas aberturas e folgas presentes na arma. Em pistolas, o escape dos gases ocorre principalmente pela boca do cano, janela de ejeção e eventos de exaustão (quando presentes). Já em armas como os revólveres, esse material é expelido pelo cano e folgas do tambor. Em armas longas, como fuzis e carabinas, os gases podem ser expelidos pelo cano, janela de ejeção, eventos de exaustão e quebra-chama (MARTINY & PINTO, 2008).

De todo o processo, 'os elementos Pb, Sb e Ba são os principais marcadores químicos presentes nos resíduos inorgânicos produzidos por disparos de armas de fogo' (ROMAO, *et al.*, 2011). A composição das partículas do material expelido nos gases contém elementos metálicos advindos do cano (Fe), estojo (Cu, Zn, Ni), projétil (Pb, Sb) e principalmente do iniciador (normalmente Pb, Ba e Sb;), além de componentes (orgânicos) da pólvora (MARTINY & PINTO, 2008).

Esses elementos e as partículas e gases expelidos a partir do cano da arma são considerados como "resíduo de disparo ou pólvora" (em inglês, *guns hot residue* - GSR); esse material, após o disparo, acaba depositado na roupa ou corpo de uma vítima ou na roupa e mãos de um atirador (ALVAREZ & ARCO, 2012).

Não só o disparo gera contaminação, representando riscos ao ambiente, mas também o manejo de grânulos de Pb, no momento da montagem dos cartuchos e durante a reciclagem da sucata de Pb de projéteis já utilizados (SANTOS, 2006).

Além de toda a composição química descrita na mistura iniciadora do cartucho de munição, pode ser encontrada no projétil liga de Pb (contendo Pb,

estanho e antimônio). Outro tipo encontrado é o projétil encamisado e semi-encamisado, sendo que o núcleo deste último é frequentemente de Pb puro (ANDRADE, 2005).

Destaca-se que a presença de determinadas substâncias no meio ambiente, como a dos metais tóxicos acima descritos, em quantidades que causem desequilíbrio, modificando a estrutura original do local, acarreta a contaminação da área. Ao realizar estudo na região de Flandres, na Bélgica, Van Dyck (1995) definiu que geralmente um local contaminado é um lugar onde os resíduos (resultado da ação humana) estão presentes ou em que a poluição dos solos e águas subterrâneas pode ocorrer.

Cabe esclarecer que a Lei 12.305/2010, que trata de resíduos sólidos, define que resíduos perigosos são aqueles que, em razão de suas características de toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, dentre outras, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica.

Após se entender a dinâmica de funcionamento das armas de fogo e verificando todo o processo químico que envolve o treinamento dos policiais pelo disparo das armas, pode-se fazer um paralelo com o conceito de Van Dyck (1995) e definir um estande de tiro como um local contaminado por resíduos perigosos.

2.3 A proteção ambiental – breve relato da evolução no tempo

A preocupação com a qualidade do meio ambiente, ao longo do tempo, vem se tornando tema principal em debates no cenário mundial. Na história luso-brasileira, já no reinado português de Dom Afonso IV, havia previsão de sanções aos que interferissem no meio ambiente sem autorização. Em 1393, as Ordenações Afonsinas (conjunto de legislações do período colonial português) já proibiam o corte deliberado de árvores frutíferas (WAINER, 1999).

As Ordenações Filipinas de 1603 (outro conjunto de legislações do período colonial português) demonstravam evidentes preocupações com o meio ambiente, determinando, dentre outras providências: a proibição de caça de determinadas espécies animais, a proibição de pesca com rede em determinadas épocas, menções expressas à poluição das águas, normativas sobre a ictiofauna, águas, animais domésticos e regulava a pesca: (locais, período e instrumentos) (COSTA *et al.*, 2012).

No período da república, com a vigência da Constituição de 1891, avanços foram constatados no Código Civil de 1916, que previa o uso nocivo da propriedade. Na década de 1930, aparecem as primeiras legislações que trataram especificamente da proteção ao meio ambiente, dentre as quais destacam-se a proteção aos animais, código das águas, exploração da caça e pesca (BERTOLI, 2004).

Hodiernamente, no cenário mundial, a questão ambiental passa a ganhar corpo no século XX, tendo como marco, na década de 1960, o lançamento do livro '*Silent Spring*' (Primavera Silenciosa) de Raquel Carlson, no qual a autora descreve os perigos do uso de pesticidas químicos e apresenta a nocividade desses produtos aos seres vivos e ao meio ambiente (SILVA, 2005).

Em 1972, um grupo, denominado Clube de Roma, constituído por intelectuais e empresários preocupados com as consequências que uma crise ecológica poderia acarretar (GRÜM, 2000), publicou um relatório chamado *The Limits of Growth* (Os Limites do Crescimento), apontando que o consumo mundial estava crescendo de tal forma que levaria a humanidade a um colapso.

Também em 1972, em Estocolmo, na Suécia, a Organização das Nações Unidas (ONU) realizou uma conferência sobre o Ambiente Humano, que resultou na Declaração de Estocolmo e no reconhecimento de que os Estados necessitavam de uma resolução universal sobre a proteção e a melhoria do meio ambiente humano (PASSOS, 2009).

Assim, se inicia a construção de mecanismos de proteção do meio ambiente, com um viés de universalidade. Vinte anos depois, a ONU realiza outra Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, no Rio de Janeiro, em 1992, que teve como escopo discutir problemas urgentes referentes à proteção ambiental e ao desenvolvimento socioeconômico (PASSOS, 2009).

Seguindo a evolução mundial, no Brasil, o direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado se tornou um direito fundamental do cidadão (BRASIL, 1988), donde decorre a obrigação dos órgãos fiscalizadores de inspecionarem as atividades poluidoras.

A CF de 1988 foi uma inovação no âmbito nacional, pois trouxe ao cenário brasileiro o artigo 225, que reza:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988).

O texto constitucional prescreve obrigações a quem agride o meio ambiente, com a previsão, no § 2º, de que aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei (BRASIL, 1988).

O legislador constitucional ainda previu no § 3º que as condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados (BRASIL, 1988).

Mesmo antes dos ditames constitucionais, a Lei 6.938/81, que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), estabeleceu padrões de qualidade ambiental, o zoneamento ambiental, a avaliação de impactos ambientais, bem como o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras (BRASIL, 1981).

A PNMA define a competência e orienta os órgãos governamentais, nos três níveis de poder, no que concerne à definição de áreas, critérios e normas de ação, com vistas a garantir o crescimento e desenvolvimento econômico, tentando preservar o meio ambiente, de maneira sustentável, por meio da conscientização, fiscalização e da aplicação de penalidades (VIANNA *et al.*, 2005).

Mesmo com a edição da Lei 6.938/81, somente em 2009 foi aprovada a Resolução nº 420 do CONAMA, no dia 28 de dezembro de 2009, que dispõe sobre os critérios e valores orientadores da qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas (CONAMA, 2009).

A Resolução define etapas de gerenciamento do solo, orientadas pelos órgãos ambientais competentes (federais, estaduais e municipais) tendo como princípios básicos a geração e a disponibilização de informações; a gradualidade na fixação de metas ambientais, como subsídio à definição de ações a serem cumpridas; a racionalidade e otimização de ações e custos; a responsabilização do causador pelo dano e suas consequências; e a comunicação de risco (CONAMA, 2009).

Os órgãos governamentais, ao realizarem especificamente o monitoramento e controle ambiental, necessitam de técnicas analíticas capazes de determinar vários elementos, principalmente os metais pesados, haja vista os efeitos tóxicos nos seres vivos (VIERA, 2004).

Nessa perspectiva, a Resolução determina que a proteção do solo deve ser realizada de maneira preventiva, a fim de garantir a manutenção da sua funcionalidade, ou de maneira corretiva, visando restaurar sua qualidade, ou recuperá-la de forma compatível com os usos previstos (CONAMA, 2009).

Assim define como funções principais do solo, dentre outras: servir como meio básico para a sustentação da vida e de *habitat* para pessoas, animais, plantas e outros organismos vivos; manter o ciclo da água e dos nutrientes; agir como filtro

natural, tampão e meio de adsorção, degradação e transformação de substâncias químicas e organismos (CONAMA, 2009).

A Resolução constitui uma fonte de informações sobre os conceitos a serem empregados na proteção de um meio ambiente ecologicamente equilibrado. Para tanto, define um conceito para o que seja contaminação:

[...] presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para os usos atual ou pretendido, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico (CONAMA, 2009).

Com vistas à prevenção e controle da qualidade do solo, a determinação legal da Resolução implica que os empreendimentos, cujas atividades apresentarem potencial de contaminação dos solos e águas subterrâneas, deverão, por exemplo, a critério do órgão ambiental competente, implantar programa de monitoramento de qualidade do solo e das águas subterrâneas na área do empreendimento e, quando necessário, na sua área de influência direta e nas águas superficiais (CONAMA, 2009). Além dessa determinação, os responsáveis pelo empreendimento devem apresentar relatório técnico conclusivo sobre a qualidade do solo e das águas subterrâneas (CONAMA, 2009).

De acordo com a Lei 12.305/2010 os responsáveis pelos estandes de tiro devem ser considerados geradores de resíduos sólidos, pois, assim são definidas as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, que geram resíduos sólidos por meio de suas atividades, nelas incluído o consumo (BRASIL, Lei 12.305, 2010).

Atualmente a potencialidade de contaminação do solo e águas nos estandes de tiro é premente, tendo em vista as condições em que estes se encontram, sendo necessária a realização de levantamento e monitoramento da qualidade do solo em suas áreas de abrangência.

2.4 Metais tóxicos, metais pesados – conceitos, contaminação e consequências

Em relação à terminologia empregada, há uma controvérsia e uma crítica ao termo “metais pesados”. O termo é frequentemente usado para se referir a um conjunto muito heterogêneo de elementos, incluindo o grupo de metais, semi-metais e não metais, que têm sido associados com a contaminação e potencial toxicidade, sendo mais usual para identificar elementos definidos como poluentes do meio ambiente e alimentos (ŠAJN *et al.*, 2013; SOARES, 2004).

Ao largo da controvérsia, o termo “metais pesados” é utilizado para elementos químicos que contaminam o meio ambiente, que provocam diferentes danos à biota, quais sejam, metais, semi-metais e mesmo não metais como, por exemplo, o selênio (TSUTIYA, 1999).

A presença de substâncias e de metais no solo por si só não é motivo de preocupação, pois nutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) (macronutrientes), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), molibdênio (Mo), zinco (Zn), boro (B), cloro (Cl) e níquel (Ni) (micronutrientes) são considerados essenciais ao crescimento dos vegetais por desempenharem funções consideradas vitais ao desenvolvimento das plantas (KIRKBY & RÖMHELD, 2007; JEZLER, 2012).

A contaminação causada por metais pesados em solos tratados com resíduos urbanos é avaliada frequentemente pelos teores totais desses elementos no solo, mas há, ainda, a possibilidade de contaminação do lençol freático devido à grande concentração de metais pesados (TSUTIYA, 1999).

Devido à migração de lixiviados, solos têm sido contaminados com metais pesados, tais como Pb, Cu, Zn, Fe, Mn, Cr e Cd, encontrados em resíduos sólidos, gerando sérios problemas ao meio ambiente (KANMANI & GANDHIMATHI, 2012).

Aumentos da concentração de metais pesados no solo, em especial de Pb,

tendo em vista a ação antropogênica, que podem causar sérios riscos à saúde humana, necessitam ser estimados e estudados (ABREU, ABREU & ANDRADE, 1998).

Os metais pesados têm se apresentado cada vez mais próximos da cadeia alimentar dos animais e, em especial, da do homem (FERNANDES *et al.*, 2007). Isso também se verifica quanto aos teores de metais pesados presentes em solos e disponíveis às plantas, sendo de fundamental importância a avaliação do risco de entrada desses elementos potencialmente tóxicos na cadeia alimentar (FERREIRA, *et al.*, 2001).

A constatação de que a utilização de armas de fogo libera metais tóxicos no meio ambiente, os quais podem causar contaminação, traz consigo a obrigação de verificar as consequências do uso e emprego desses equipamentos pelos policiais militares. Gonçalves Jr. (2013) declara que, em meio aos poluentes, os metais tóxicos estão entre os que mais causam preocupação, dado que vários processos têm produzido resíduos ricos nesses elementos.

O que se verifica é que o processo de treinamento dos policiais militares gera a contaminação por Pb no momento da denotação da espoleta, que contém estifilato de Pb, sendo liberadas partículas de Pb quando o projétil passa através do cano da arma (SANTOS, 2006).

Resumidamente, o processo de treinamento feito pelos policiais militares, para utilizar armas de fogo, se dá pela repetição de técnicas de tiro e, por consequência, o disparo de arma de fogo propriamente dito. As armas expõem projéteis compostos de Pb. Esse material é lançado contra os barrancos onde ficam depositados.

Conforme o manual do Método GiralDI - 2006, o treinamento de tiro de policiais não exige um local (estande de tiro) sofisticado; para a sua realização, basta um simples barranco para contenção dos projéteis (GIRALDI, 2006). O manual conclui declarando que o treinamento pode ser feito, de igual forma, em qualquer bairro ou cidade (GIRALDI, 2006).

Ao se verificar o Manual Giraldi – 2006, a inferência que se pode fazer é de que não há preocupação ambiental alguma quando da instalação ou treinamento em um estande de tiro. Logo se vislumbra que o solo dos barrancos e toda área que serve de anteparo aos projéteis nos estandes de tiro sejam passíveis de contaminação por metais tóxicos, em especial Pb.

O presente trabalho aponta que o treinamento de tiro por policiais se mostra também como fonte de contaminação. Como se pode observar pela Figura 3, muitos resíduos sólidos ficam depositados no solo dos estandes de tiro, de modo semelhante ao que ocorre no estande de tiro da Academia Policial Militar do Guatupê (APMG).

Figura 3 – Projéteis depositados no solo do estande de tiro da APMG.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Entender a dinâmica de um possível processo de contaminação do solo por metais tóxicos é de grande importância, tendo em vista os riscos que pode acarretar à qualidade das águas superficiais e subterrâneas, além dos altos custos envolvidos em operações de remediação (SOARES *et al.*, 2005).

Está patente que o uso de armas de fogo pela PMPR caracteriza-se como

uma fonte de contaminação. Os projéteis de Pb se constituem em resíduo sólido depositado no solo dos estandes de tiro, e, como tal, acarretam vários problemas. Konrad & Calderan (2011) destacam dentre eles: a poluição do ar, contaminação do solo, das águas superficiais e dos lençóis freáticos; riscos à saúde pública pela proliferação de diversos tipos de doenças; agravamento de problemas socioeconômicos.

2.5 Influência do Cd na saúde humana e meio ambiente

O Cd é encontrado naturalmente na crosta da Terra, sendo comumente associado ao Zn, Pb e minério de Cu, com uma abundância de 0,1 a 0,5 mg.L⁻¹ (PIZZAIA, 2013). A contaminação por Cd pode acontecer via ingestão de produtos agrícolas e de solo, resultando em potencial risco à saúde (CAMPOS *et al.*, 2013).

Em humanos, o Cd pode se acumular com maior ênfase nos rins, no fígado e nos ossos, podendo levar a disfunções renais e osteoporose, além de favorecer a geração de radicais livres, interferências no sistema imunológico e nervoso, conseqüentemente afetando o sistema visual e olfativo; pode, ainda, causar enfisemas pulmonares e desmineralização óssea (PIZZAIA, 2013). Os efeitos tóxicos do Cd se manifestam principalmente nos ossos e rins. Pessoas com baixas reservas de ferro são particularmente vulneráveis a esses efeitos adversos (GARCÍA & CRUZ, 2012).

Além de comida e cigarros, que são as principais fontes de exposição dos seres humanos ao Cd, a exposição pode ocorrer através de líquidos, seja por conta de tubulações que contenham Cd em soldas ou água contaminada por resíduos descartados nos rios ou em locais de captação (GARCÍA & CRUZ, 2012).

Existem evidências epidemiológicas que determinam ser o Cd um agente carcinogênico em relação à saúde humana, sendo classificado em sétimo lugar no ranking da lista das substâncias mais perigosas divulgadas pela Agência de Saúde Pública Federal dos EUA (LACORTE, 2012).

2.6 Influência do Cr na saúde humana e meio ambiente

Sendo considerado um elemento com traço essencial para o ser humano, o Cr é um metal de grande importância na área da indústria, como é o caso da galvanoplastia, polimento de metais, produção de ligas metálicas, estruturas da construção civil, fertilizantes, tintas, pigmentos, curtumes, preservativos para madeira entre outros usos, conseqüentemente, é considerado um grande poluidor do meio ambiente (AMORIM, 2000; TRINDADE *et al.*, 2012; CETESB, 2014). Conforme Trindade(2012):

Entretanto, se encontrado em altas concentrações, também pode ser tóxico aos indivíduos. A intoxicação geralmente conduz à corrosão do aparelho digestivo, diarreias, náuseas, efeitos cutâneos, danos aos rins, fígado e pulmões, hemorragias internas e desenvolvimento de carcinomas (TRINDADE *et al.*, p. 68, 2012).

Rotineiramente, materiais que utilizam Cr são descartados de forma inadequada e sem tratamento. Esses resíduos possuem alto poder de contaminação, pois o Cr liberado atinge os lençóis freáticos com facilidade, ou mesmo reservatórios ou rios, que são as fontes de abastecimento de água das cidades (MAGRO, 2010).

Em condições normais, as concentrações de Cr em água doce são baixas. Na forma trivalente, o Cr é essencial ao metabolismo humano, porém, na forma hexavalente, é tóxico e cancerígeno (CETESB, 2014). A presença do Cr em altas concentrações traz conseqüências ambientais, principalmente, sobre espécies aquáticas, acumulando-se em guelras, brônquios, vísceras, coração, pele, escamas e músculos (MAGRO, 2010).

2.7 Influência do Pb na saúde humana e meio ambiente

Conforme Mavropoulos (1999), ao citar Larini, a contaminação do solo pelo Pb pode se dar de forma natural ou geológica, ou ainda por meio de atividades exercidas pelo homem, como a mineração, a indústria e o transporte. E complementa ressaltando que o teor de Pb nos solos tende a se alterar de região a região. Por exemplo, em regiões próximas às vias de tráfego intenso e de indústrias, os teores de Pb se apresentam bem mais elevados do que aqueles encontrados em áreas isoladas (MAVROPOULOS, 1999).

Estudos apontam que a contaminação por Pb nos solos provém de fontes antrópicas, tais como o uso de insumos agrícolas com teores elevados de Pb, deposição atmosférica, mineração e resíduos industriais (PIERANGELI, 1999).

No trabalho apresentado por Van Geen *et al.* (2012), que buscou estimar a população do Peru que poderia estar exposta ao Pb do solo contaminado nas proximidades de minas de exploração, foi constatado que 53% das amostras de solo tinham uma concentração de Pb acima do máximo de 1.200 mg/kg recomendados pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA).

Esse estudo obteve resultados esclarecedores, pois demonstrou que, nos locais pesquisados, as cinco maiores concentrações de Pb no solo, que variaram entre 5.000 e 12.000 mg/kg, foram observadas em amostras colhidas acerca de 500 m da margem do poço de extração e apenas 11 das 74 amostras apresentaram concentrações de Pb abaixo do limite de 400 mg/kg conforme recomenda a EPA (VAN GEEN *et al.*, 2012).

Pierangeli *et al.* (2001) faz uma observação quanto aos teores de Pb e normas reguladoras brasileiras:

No Brasil, teores de chumbo superiores aos reportados na literatura mundial têm sido observados em alguns fertilizantes e calcários (Amaral Sobrinho *et al.*, 1992), biossólidos (Langenbach *et al.*, 1994) e compostos de lixo urbano (Cravo *et al.*, 1998). Embora existam normas regulamentares relativas à concentração máxima permitida de Pb para que um resíduo ou corretivo possa ser adicionado aos solos, elas são muito genéricas, uma vez que não levam em conta os atributos dos solos. (PIERANGELI *et al.*, p. 280, 2001)

Geralmente, o Pb acumula-se na camada superficial do solo em vista de sua baixa mobilidade no perfil (ABREU, ABREU & ANDRADE, 1998). Miranda *et al.* (2011), ao citar Peres e Moreira (2003), destaca que não somente os solos poluídos por essa substância como também águas poluídas ou as resultantes de suas fragmentações, geram a contaminação dos animais que as habitam, podendo constituir uma ameaça para a saúde humana através da biomagnificação (PERES & MOREIRA; 2003).

Uma pequena quantidade desse metal é transportada para as águas subterrâneas ou mesmo superficiais. A maior parte do Pb fica retida no solo. Esse processo ocorre tendo em vista vários fatores como o pH, a composição mineral, quantidade e tipo de matéria orgânica, dentre outros encontrados no solo, que dificultam a travessia (PAOLIELLO; CHASIN, 2001).

Várias são as fontes de contaminação do solo. Cunha (2003) aponta a galena, sulfeto de Pb, como a fonte primária mais importante de Pb e a principal fonte comercial. Outra fonte, como, por exemplo, a atividade de mineração, tem a capacidade de perturbar ou alterar os ciclos naturais dos elementos químicos no ambiente, causando a acumulação dos metais tóxicos nas águas, sejam elas superficiais ou subterrâneas, também nos sedimentos, solos, na atmosfera e, portanto, no organismo dos homens e animais, por meio da ingestão de água e alimentos e da inalação de partículas de poeira (CUNHA, 2003).

Todavia, no caso do Pb, quando encontrado em níveis de exposição moderada no ambiente e nas ocupações laborais, um importante aspecto dos seus efeitos tóxicos a ser observado é a reversibilidade das variações bioquímicas e funcionais induzidas (MOREIRA & MOREIRA, 2004a).

O Pb é um elemento tóxico não essencial que se acumula no organismo e compromete virtualmente todos os órgãos e sistemas do corpo humano, sendo que os mecanismos de toxicidade propostos envolvem processos bioquímicos basilares (MOREIRA & MOREIRA, 2004).

No organismo humano, a absorção do Pb é influenciada por alguns aspectos como a rota de exposição, forma química, tamanho da partícula, assim como pela solubilidade dos compostos desse metal e variações individuais fisiológicas e patológicas (MOREIRA & MOREIRA, 2004b).

Em adultos, os efeitos da exposição podem influenciar as funções do sistema nervoso central e também o aumento da pressão sanguínea, o que se torna um fator de risco para pessoas cardiopatas (JAKUBOWSKI, 2011).

Grande parte das pesquisas sobre os efeitos na saúde provocados pelo Pb tem sido focada em crianças porque elas são mais vulneráveis ao Pb do que adultos. Estudos mostram que as crianças sofrem mais, pois, nelas, os efeitos críticos atingem o sistema nervoso, enquanto que nos adultos com exposição ocupacional excessiva, ou até por acidente, os cuidados são com a neuropatia periférica e a nefropatia crônica (JAKUBOWSKI, 2011; MOREIRA & MOREIRA, 2004a).

Gonçalves Jr (2013), ao citar Paoliello & Chasin (2001), explica que o Pb é o metal pesado tóxico em maior quantidade na crosta terrestre, apresentando uma concentração média entre 10 e 20 mg/kg⁻¹. Ademais o referido metal provoca várias alterações bioquímicas, todas elas deletérias (SCHIFER, BOGUSZ & MONTANO, 2005).

Uma releitura da teoria acerca da contaminação do solo por Pb mostra fontes clássicas de contaminação:

No Brasil, dentre as principais fontes, temos: a poeira contaminada nas áreas das comunidades que vivem próximas a fábricas ou ao redor de minerações; o material particulado trazido para o interior da casa por aqueles que trabalham em indústrias que manipulam chumbo; o uso de porcelana esmaltada e utensílios de PVC; a fabricação caseira de chumbadas de pesca e cartuchos; tinturas de cabelo; tintas de brinquedos; projéteis de arma de fogo alojados em articulações ou canal medular; e até mesmo alimentos, industrializados ou frescos, dependendo se a água utilizada na irrigação ou o solo onde foram plantados estão ou não com níveis de chumbo elevados (EVANGELISTA & SILVA, p. 8, 2013).

Os efeitos do Pb no organismo humano são devastadores, razão pela qual

se faz necessário manter o controle dos níveis do referido metal no meio ambiente, observando rigorosamente os ditames legais.

2.8 Influência do Al na saúde humana e meio ambiente

Apesar de ser dos elementos mais abundantes, o terceiro elemento depois do oxigênio e sílica no meio ambiente, configurando 8,8 % na crosta terrestre, o Al está presente em reduzidas quantidades nos seres vivos (ROSALINO, 2011). O Al e seus sais são amplamente usados pela indústria no tratamento da água, como aditivo alimentar, na fabricação de latas, telhas, papel alumínio, na indústria farmacêutica (CETESB, 2014).

Em solos ácidos e com elevados teores de Al^{3+} , a toxicidade de Al é o fator mais limitante à produtividade agrícola (DEL GUERCIO & CAMARGO, 2011; KOCHIAN, 1995). Conforme a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (2014), na água, o Al pode ocorrer em diferentes formas:

[...] é influenciado pelo pH, temperatura e presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes. [...] Em águas com extrema acidez, afetadas por descargas de mineração, as concentrações de alumínio dissolvido podem ser maiores que 90 mg/L. Na água potável, os níveis do metal variam de acordo com a fonte de água e com os coagulantes à base de alumínio que são usados no tratamento da água (CETESB, p. 6, 2014).

Autores divergem quanto à classificação do Al. Oliveira (2014) entende que o Al, apesar de não ser classificado como metal pesado, está entre a vasta relação de poluentes da água e interfere significativamente no ecossistema aquático quando em excesso (OLIVEIRA, 2014).

Cunha *et al.* (2011) e Silva (2007) entendem que o Al é um metal pesado abundante nas rochas e causa problemas em 30-40% das terras cultiváveis do planeta. Em solos ácidos, ele torna-se solúvel, é absorvido pelas raízes e inibe o crescimento das plantas (CUNHA *et al.*, 2011; SILVA, 2007).

A principal via de exposição humana ao Al é pela ingestão de alimentos e

água, com exceção da via ocupacional, não havendo indicações de que apresente toxicidade aguda por via oral (CETESB, 2014).

Não há indicação de carcinogenicidade para o Al, porém, alguns autores o relacionam à doença de Alzheimer e a outros tipos de escleroses, já que nos pacientes com a doença foi detectado o aumento da concentração de Al no cérebro, músculos e ossos (CETESB, 2014; DANTAS *et al.*, 2007).

2.9 Estandes de tiro – prováveis fontes de contaminação

A PMPR mantém, em algumas cidades do Estado, estandes de tiro onde são realizados os treinamentos de seus agentes. Em alguns casos, os estandes de tiro são áreas abertas onde os disparos de arma de fogo são realizados contra “barrancos” de terra, ou armações de pneus preenchidos com areia ou com a própria terra do local⁴.

A deposição de resíduos de munições em estande de tiro pode representar uma ameaça para o meio ambiente e fauna, tendo em vista que animais domésticos ou selvagens podem beber de córregos ou lagos contaminados, ou podem alimentar-se do pasto contaminado na área do campo de tiro (MARIUSSEN *et al.*, 2012).

Os estandes de tiro da PMPR são locais onde os militares estão expostos ao contato com o Pb, quer seja pelo manuseio do armamento e munição ou mesmo pelo Pb no solo resultante dos disparos nos barrancos. Assim, conforme artigo 14 da Resolução 420/2009 do CONAMA, a existência dos estandes de tiro demanda um cuidado ambiental (CONAMA, 2009).

Entretanto, ao se buscar informações sobre a gestão ambiental dos estandes de tiro da PMPR, não foram encontrados dados disponíveis que permitissem deduzir se há ou não contaminação destes espaços. Não havendo

⁴ Constatação mediante visita *in loco* dos estandes da PMPR.

informação disponível, não há, em tese, um conflito ambiental (MEDEIROS, 2004).

Peddicord & Lakind (2000), ao pesquisarem o estande de tiro ao ar livre do Centro *Blue Mountain Sportsman*, operado por *Westchester Country*, que fica a aproximadamente 40 km ao norte de Nova York, EUA, trataram dos riscos para a saúde humana e ecológica em um campo de tiro ao ar livre; fizeram avaliações dos perigos aos seres vivos decorrentes do uso de munições e armas de fogo.

Os autores destacaram que o Pb se converte numa exceção ao risco mínimo à saúde humana. As análises indicaram níveis elevados de Pb no sangue (acima de 10 µg/dL) para os clientes do centro de tiro e funcionários, decorrentes do uso de armas de pequeno calibre e da ingestão de sedimentos e águas superficiais (PEDDICORD & LAKIND, 2000).

Os resultados da análise indicam níveis elevados de Pb no sangue (acima de 10 µg / dL) também para as crianças que convivem nos estandes de tiro pesquisados. Cerca de 30% das crianças que ingerem solo, sedimentos e águas superficiais apresentaram alterações significativas nas amostras de sangue (PEDDICORD & LAKIND, 2000).

Os autores concluem que sedimentos e águas superficiais parecem ter maior contribuição para os níveis elevados de Pb no sangue das crianças que adentram os estandes de tiro de forma irregular (PEDDICORD & LAKIND, 2000).

A probabilidade da existência da contaminação do solo dos estandes de tiro por Pb é alta. Conforme Hardison Jr. *et al.* (2003), a contaminação de solos pela utilização de disparos com projéteis de Pb está em crescimento. Em sua pesquisa, os autores procuraram apurar a existência de contaminação de campos de tiro e as reações de intemperismo de projéteis de Pb no solo, além do significado da abrasão dos projéteis de Pb para a contaminação do solo.

Segundo os autores, a abrasão de projéteis de Pb e, na sequência, seu intemperismo, pode ser uma fonte expressiva de contaminação por Pb em solos de um estande de tiro (HARDISON JR. *et al.*, 2003).

Este estudo, vinculado aos demais apresentados ao longo da presente pesquisa, leva a diligenciar atentamente para a existência de contaminação, e até de poluição, por metais pesados dos solos dos estandes de tiro da PMPR e de estandes particulares (HARDISON JR. *et al.*, 2003).

2.10 Normas ambientais – regulamentação do CONAMA

Machado *et al.* (2004) indica que a seriedade de um determinado cenário de contaminação depende de alguns fatores, dentre os quais é preciso que haja a disponibilização do contaminante para o meio ambiente. Os autores esclarecem que:

Havendo a disponibilização do contaminante, é interessante que se conheçam os possíveis caminhos a serem percorridos pelo mesmo, a intensidade e o espraiamento da contaminação. Desempenham um papel fundamental na busca de respostas para estas questões as condições hidrogeológicas, as características das camadas de solo e as condições geotécnicas do local, assim como as características do próprio contaminante. Havendo a possibilidade do contaminante se propagar, é necessário que se identifiquem as possíveis formas de exposição da população ao contaminante (existência de poços para o consumo de água, ingestão de alimentos contaminados, aspiração de poeira, geofagia, etc.) (MACHADO *et al.*, p. 142, 2004).

O ponto de referência para verificar se há ou não contaminação dos solos pesquisados é a Resolução nº 420/2009 do CONAMA, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas (CONAMA, 2009).

Ao fazer uma análise sobre a citada Resolução, Skorupa (2013), citando Rohde (2008), apresenta as fases para se estabelecer valores de qualidade do solo:

Para este fim, foram estabelecidos os seguintes termos e definições: 1. valor de referência de qualidade: concentrações naturais, determinadas com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de diversas amostras; 2. valor de prevenção: concentrações-limite de

determinada substância, com o intuito de garantir a manutenção e/ou restauração do ecossistema, compatíveis com os usos previstos; 3. valor de investigação: definição usada para concentrações de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima do qual existem riscos potenciais à saúde humana. A determinação de concentrações naturais de um elemento ou substância no solo ('background'), sem influência antrópica, é um passo importante para a definição de valores orientadores e preventivos de contaminação do solo. Outro termo bastante comum na literatura é o nível de base ('baseline') que é a concentração de um determinado elemento ou substância em alguns pontos de amostragem no tempo, e que pode incluir influência humana (ROHDE, 2008).

Assim, o nível de base não corresponde necessariamente às concentrações naturais de elementos ou substâncias no solo ('background') e é definido como o intervalo de dois desvios-padrão em relação à média, ou seja, a inclusão de 95% dos resultados do intervalo (ROHDE, 2008), assumindo-se uma distribuição normal (SKORUPA, p. 13-14, 2013).

A Resolução 420/2009 estabelece, em seu artigo 21, os princípios básicos para o gerenciamento de áreas contaminadas:

- I - a geração e a disponibilização de informações;
- II - a articulação, a cooperação e integração interinstitucional entre os órgãos da União, dos estados, do Distrito Federal e dos municípios, os proprietários, os usuários e demais beneficiados ou afetados;
- III - a gradualidade na fixação de metas ambientais, como subsídio à definição de ações a serem cumpridas;
- IV - a racionalidade e otimização de ações e custos;
- V - a responsabilização do causador pelo dano e suas consequências; e,
- VI - a comunicação de risco (CONAMA, 2009).

Conforme se verifica, a constatação de que uma área está contaminada implica uma série de ações por parte dos agentes envolvidos, sejam eles públicos ou particulares (CONAMA, 2009).

Decorre da Resolução, por meio do gerenciamento de áreas contaminadas, o resguardo à saúde humana e garantia de um meio ambiente saudável (CONAMA, 2009). O gerenciamento das áreas deverá conter procedimentos e ações voltadas ao atendimento dos seguintes objetivos:

- I - eliminar o perigo ou reduzir o risco à saúde humana;
- II - eliminar ou minimizar os riscos ao meio ambiente;
- III - evitar danos aos demais bens a proteger;
- IV - evitar danos ao bem estar público durante a execução de ações para reabilitação; e
- V - possibilitar o uso declarado ou futuro da área, observando o planejamento de uso e ocupação do solo (CONAMA, 2009).

A citada Resolução do CONAMA (2009) define ainda que, para o

gerenciamento de áreas contaminadas, o órgão ambiental competente deverá instituir procedimentos e ações de investigação e de gestão, conforme ilustrado no Anexo I, baseadas nas seguintes etapas definidas no artigo 23:

I - Identificação: etapa em que serão identificadas áreas suspeitas de contaminação com base em avaliação preliminar, e, para aquelas em que houver indícios de contaminação, deve ser realizada uma investigação confirmatória, às expensas do responsável, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes.

II - Diagnóstico: etapa que inclui a investigação detalhada e avaliação de risco, às expensas do responsável, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes, com objetivo de subsidiar a etapa de intervenção, após a investigação confirmatória que tenha identificado substâncias químicas em concentrações acima do valor de investigação.

III - Intervenção: etapa de execução de ações de controle para a eliminação do perigo ou redução, a níveis toleráveis, dos riscos identificados na etapa de diagnóstico, bem como o monitoramento da eficácia das ações executadas, considerando o uso atual e futuro da área, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes (CONAMA, 2009).

A Resolução apresenta uma série de requisitos quando uma área é declarada contaminada, entretanto, o fato é que não há fiscalização das áreas de estande de tiro da PMPR, o que demonstra a possibilidade de que os espaços estejam contaminados e necessitem de intervenção do órgão ambiental competente (CONAMA, 2009).

A literatura fornece hoje uma diversidade de métodos de determinação de teores naturais de metais no solo. No entanto, há necessidade de normatização por parte das agências regulamentadoras do método a ser adotado, possibilitando a comparação com os valores orientadores (CONAMA, 2009).

O CONAMA estabeleceu os métodos 3050 e 3051 da EPA, e suas atualizações, tornando-os métodos-padrão para a obtenção dos teores de metais em solos do Brasil para comparação com os Valores de Referência de Qualidade (VRQs)⁵ (BIONDI, 2010).

Há possibilidade de que as áreas dos estandes de tiro já estejam na terceira fase do gerenciamento de áreas contaminadas, conforme artigo 23 da Resolução

⁵ Conforme artigo 6º, inciso XXII, da Resolução 420/2009 do CONAMA, Valor de Referência de Qualidade-VRQ: é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, sendo determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos.

420/2009 do CONAMA. Ou seja, áreas que necessitem de intervenção exigindo ações de controle para a eliminação do perigo ou redução dos valores a níveis toleráveis.

Existindo então a contaminação nos estande de tiro, há que se cumprir a Resolução. Assim, a PMPR deverá gerenciar as áreas visando controlar e eliminar a contaminação existente, buscando realizar ações que de fato resolvam o problema apresentado (CONAMA, 2009).

3 PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS

Este capítulo apresenta a descrição dos métodos e ferramentas utilizados nos procedimentos para extração das amostras de solos que foram analisadas e demonstra como foram determinados os pontos de coleta. No capítulo, são exibidas e relacionadas as características de cada área dos estandes de tiro objetos da pesquisa. Por fim, traz o detalhamento teórico, baseado na literatura contemporânea, do método de análise físico-química utilizado para a determinação dos teores de metais pesados ora estudados.

3.1 Métodos e ferramentas – amostragem

A composição do solo pode interferir num possível processo de contaminação. Estudo realizado por Yin *et al.* (2010) na Flórida, nos EUA, demonstrou que a alta umidade, temperatura e precipitação contribuiu para o aumento do intemperismo dos projéteis de Pb descartados no solo com consequente dissolução e lixiviação (YIN *et al.*, 2010).

Durante as últimas décadas, vários procedimentos para extração de metais pesados em solos têm sido desenvolvidos e modificados (RAURET, 1998). Assim, coube estabelecer uma forma adequada de coleta.

Pelozato *et al.* (2010), ao citar Raubert (1998), argumentam sobre a importância da escolha do método de extração, afirmando que esta se dá pela possibilidade de determinar não somente o teor do ponto de vista quantitativo, mas também a disponibilidade, a mobilidade do metal pesado.

No estudo acima citado, os autores (que tratavam de solo e plantas) concluíram que a importância fecha o ciclo na possibilidade de transferência do metal pesado do solo para a planta e, por consequência, a entrada desse na cadeia alimentar (PELOZATO *et al.*, 2011; RAURET, 1998).

Em seu trabalho, Machado *et al.* (2011) realizaram sondagem de acordo com o teste padrão de penetração (do inglês, *Standard Penetration Test*, SPT). Os autores seguiram normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (ABNT, 1986). O material foi coletado de acordo com a Norma Brasileira (NBR) 6457, sendo realizadas cinco perfurações em distintos locais da área de coleta a ser pesquisada, distribuindo-as, uniformemente, no terreno, (MACHADO *et al.*, 2011).

A realização de análise geoestatística mostra-se uma boa via para se obter um diagnóstico dos teores de metais de uma área. Basicamente, a obtenção de duas campanhas de amostragem é suficiente para se conquistar o objetivo almejado. A primeira se dá de forma aleatória e com objetivo de obter informações sobre o comportamento e teor de metais na área; a segunda, de forma sistemática, com o objetivo de avaliar a distribuição espacial dos metais ao longo da área de estudo (MACHADO *et al.*, 2011).

Pesquisadores têm recorrido a técnicas de coleta de material utilizando-se de sondagens a trado. Fernandes *et al.* (2007) recolheram amostras de solo para avaliar a concentração de metais pesados em áreas olerícolas no Estado de Minas Gerais. Para tanto, as amostras de solo foram coletadas com um trado de inox.

Os autores introduziram o trado até 20 cm de profundidade no solo. A partir de determinado número de amostras simples, variável em função do tamanho da

área e nunca inferior a 10 tomadas, o material foi homogeneizado e uma porção de aproximadamente 500 g foi transferida para sacos plásticos (FERNANDES *et al.*, 2007).

Machado *et al.* (2004) realizaram campanha de investigação de campo utilizando diversas sondagens a trado na zona urbana e na área do entorno de uma antiga fábrica de Pb na cidade de Santo Amaro, na Bahia.

Durante os estudos, os pesquisadores concluíram que deveriam priorizar a coleta de amostras superficiais, com profundidades variando em torno de 30 cm. As amostras foram cadastradas e armazenadas em sacos plásticos, sendo levadas para a realização de ensaios de espectro-fotogrametria de absorção atômica, de modo a se calcular as concentrações de Zn, Cd e Pb (MACHADO *et al.*, 2004).

No presente trabalho, se buscou dar continuidade a métodos científicos já consagrados, como os acima apresentados, bem como os abaixo descritos, visando esclarecer qual a real situação dos estandes de tiro pesquisados.

3.2 Métodos e ferramentas – determinação dos pontos de coleta

Trabalhos já realizados adotaram a metodologia de coletar amostras de solo superficiais em profundidade em torno de 10 centímetros abaixo da superfície a fim de detectar os níveis de arsênico, Cr, Cu, Pb e Zn (KOOTBODIEN *et al.*, 2012).

Seguindo diretrizes da EPA 2000/2003, pesquisadores estadunidenses coletaram solo superficial (0 e 20 cm) e subsolo (20 e 35 cm), perfurando pequenos buracos no espaço da área pesquisada e acondicionando as amostras de solo em sacos plásticos etiquetados com zíper e armazenados em temperatura ambiente, posteriormente encaminhados até o laboratório onde puderam ser realizadas as análises (STRUCKHOFF *et al.*, 2013).

Com o objetivo de recolher amostras dos solos pesquisados, utilizou-se o

trado tipo holandês (Figura 4), com caçamba de 20 cm de altura e 6 cm de diâmetro, volume de aproximadamente 560 cm³, haste de 1 m de altura. Esse modelo se configurou numa ferramenta que tornou a operação mais fácil e ágil, com a vantagem de permitir a retirada das amostras na profundidade correta e das mesmas quantidades de terra de todos os pontos amostrados (ROSOLEM, TOZI & GARCIA, 2010).

Figura 4 - Trado Holandês sendo utilizado durante a pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo Autor

A determinação dos pontos de coleta das amostras levou em conta o local de onde são disparadas as armas dentro dos estandes de tiros e os pontos de impacto dos projéteis. Assim, foram retiradas amostras junto aos boxes de abrigo dos atirados, bem como dos barrancos de terra e também entre estes pontos de 10 a 15 metros dos barrancos.

Os parâmetros foram estabelecidos a partir de estudo detalhado dos resultados das amostras coletadas dos solos, para as quais foram realizadas duas campanhas (coletas de solo).

A primeira campanha foi realizada ao longo do ano de 2013, e outra no ano de 2015, com o objetivo de conseguir comparações entre os níveis de metais encontrados e que pudessem indicar o comportamento (a mobilidade) dos elementos químicos em análise.

A amostragem foi realizada com base na metodologia proposta pelo IAP (IAP, 2014), sendo divididas em áreas homogêneas e representativas ao longo do estande de tiro. Para a coleta das amostras, foi retirada a vegetação e outros detritos da superfície do solo a ser amostrado. O solo foi coletado com o auxílio do trado holandês, na profundidade de 0-20 cm.

Foram coletadas cinco amostras simples, depositadas em uma bandeja para homogeneização e formação da amostra composta, constituindo a amostras 01, 02, 03, 04, 05 e amostra testemunha, para todos os estandes, com exceção do estande Principal da APMG que foram coletadas 17 amostras (no momento da coleta foram enumeradas de 01 a 23, pois, foram agrupadas por questão de logística com as do estande da APMG desativado). Cada amostra composta foi acondicionada então em sacos plásticos devidamente identificados e encaminhados para o Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus de Marechal Cândido Rondon - PR, para a realização das análises propostas.

Como já foi explicitado para todos os estandes, (exceto o Principal da APMG) foram coletadas 6 amostras (Figura 5), sendo uma testemunha. A coleta do solo da amostra testemunha foi feita em uma área com as mesmas características, como cor e textura do solo dos estandes, dando preferência (quando possível) a solos não cultivados, sem ação antrópica, distante de qualquer influência dos tiros realizados naquele ambiente.

Figura 5 – Processo de coleta das amostras



Fonte: elaborado pelo Autor.

No caso dos estandes de tiro da APMG, foram coletadas no total 23 amostras. As 6 primeiras amostras foram coletadas no estande de tiro desativado. As outras 17 amostras foram coletadas no estande de tiro ativo.

Dos resultados obtidos, foram montados seis bancos de dados, vislumbrando-se a possibilidade de desdobrar o da APMG em três sub-bancos de dados. Cada banco de dado se refere a um estande de tiro pesquisado, tendo como objetivo comparar a distribuição dos metais na superfície do solo, confrontando os resultados de todas as amostras. Inicialmente, foi realizado tratamento estatístico simples dos dados com o objetivo de verificar o seu comportamento, utilizando-se, para tanto, o software Excel.

Vários aspectos podem ser observados na análise de contaminação dos solos, conquanto, destacam-se a estatística e a geoestatística dentre as práticas possíveis de caracterização espacial de variáveis no solo.

A geoestatística se caracteriza como 'uma ferramenta computacional capaz de avaliar a distribuição e variabilidade em uma determinada área, a partir de um número restrito de amostragem' (FERNANDES *et al.*, 2007).

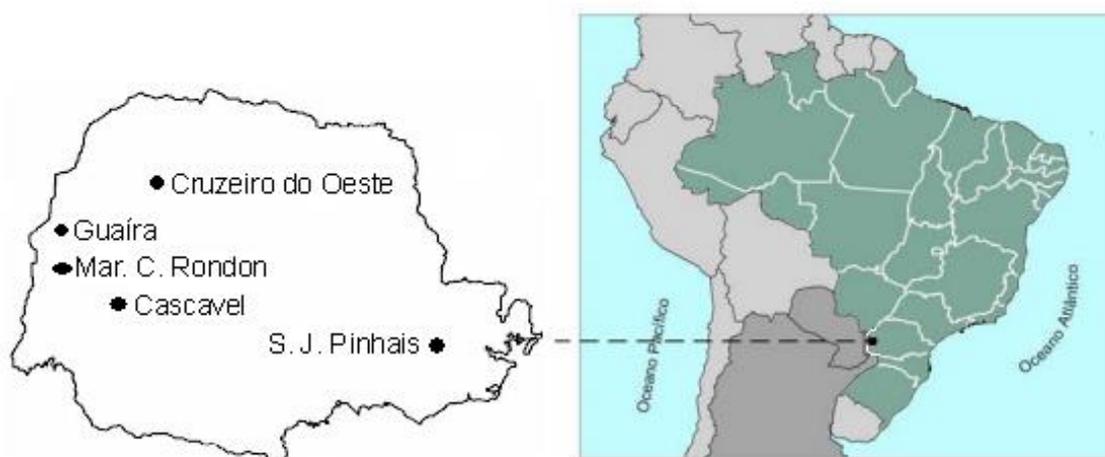
Para a análise estatística dos dados, foi utilizada a estatística inferencial. Esse ‘procedimento abrange a estatística descritiva, análise de regressão e correlação lineares e a estatística multivariada com a análise do dendrograma’ (PEREIRA *et al.*, 2007).

Análises das propriedades física e química do solo também foram realizadas. Essas análises são de crucial importância no que diz respeito à gestão de ações futuras de remediação para evitar e minimizar a contaminação (SHUQAIR, 2002).

3.3 Estandes de tiro objetos da pesquisa

Em análise neste trabalho estão 5 (cinco) estandes de tiro localizados no estado do Paraná (Figura 6), dos quais dois são particulares e outros três pertencentes à Polícia Militar.

Figura6 – Mapa da localização dos estandes de tiro pesquisados no Estado do Paraná.



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Cleverson Alexander Reolon *in*: Souza (2006).

Os estandes de tiro pertencentes à Polícia Militar encontram-se nos municípios de Cascavel, Cruzeiro do Oeste e São José dos Pinhais; já os particulares se localizam no município de Marechal Cândido Rondon e Guaira.

No que tange à atividade, os estandes de Cascavel, Cruzeiro do Oeste e Marechal Cândido Rondon estão em pleno funcionamento. O estande particular de Guaíra encontra-se desativado.

Cabe destacar o estande de tiro de São José dos Pinhais, pertencente à APMG, que apresenta uma grande estrutura, convertendo-se no maior estande de tiro do Estado do Paraná.

Na realidade, trata-se de um conjunto de estandes de tiro, composto por um estande de tiro desativado há 6 anos, um complexo de estandes de tiro onde há um estande de tiro principal e três estandes de tiro secundários.

3.3.1 Estande de tiro particular em Marechal Candido Rondon-PR

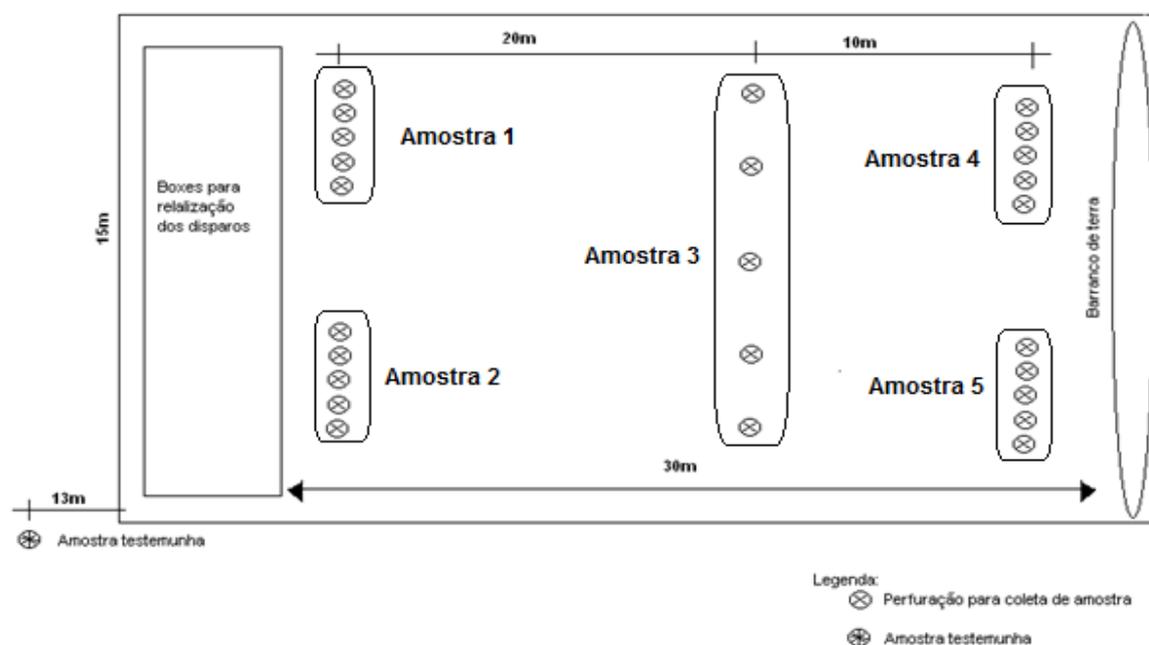
O primeiro deles é o estande de tiro particular localizado na cidade de Marechal Cândido Rondon (Figura 7), que fica na região de fronteira entre o Brasil e o Paraguai. O estande de tiro possui uma área de tiro coberta onde os atiradores permanecem durante a realização dos disparos de arma de fogo. As demais estruturas físicas ficam a céu aberto sendo a área murada e com barrancos para a deposição dos projéteis expelidos pelas armas de fogo (conforme croqui Figura 8).

Figura 7 - Descrição, georreferenciamento dos pontos de coleta do Estande de Marechal Candido Rondon



Fonte: Base de dados Google Maps (2013), adaptado pelo autor.

Figura 8 – Croqui do estande de tiro particular em Marechal Candido Rondon-PR.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2014.

O referido estande de tiro está localizado na área rural do município e se encontra em funcionamento, sendo utilizado pelos sócios e, eventualmente, por policiais que realizam os mais variados treinamentos.

3.3.2 Estande de tiro particular (desativado) em Guaíra-PR

O segundo estande de tiro está localizado na cidade de Guaíra, também no oeste do Estado e na região de fronteira do Brasil com o Paraguai. Esse estande de tiro é particular e se encontra desativado (Figura 09).

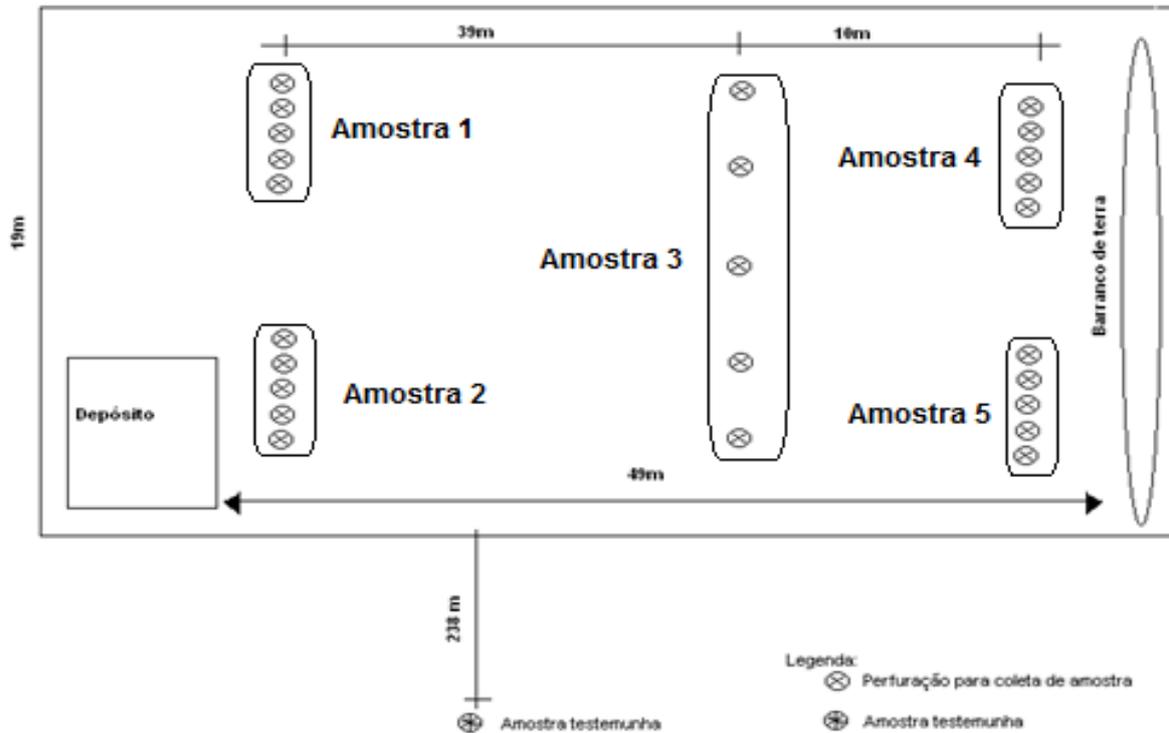
Figura 09 - Descrição, georreferenciamento dos pontos de coleta do Estande de Guaíra



Fonte: Base de dados Google Maps (2013), adaptado pelo autor.

No caso em questão, o estande de tiro fica em um sítio, resumindo-se a uma área rural de 931 m² em que há um pequeno depósito para guardar os materiais usados para o tiro, como se vê pelo croqui da Figura 10.

Figura 10 – Croqui do estande de tiro particular em Guaíra-PR.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2014.

Ao longo de 49 metros, no terreno, foi realizada uma elevação de terra em formato de “U”, formando barrancos que serviam de aparadores dos projéteis lançados pelas armas de fogo (Figura 11).

Figura11 – Local coberto por vegetação onde ao fundo se pode ver o barrando do estande desativado de Guaíra



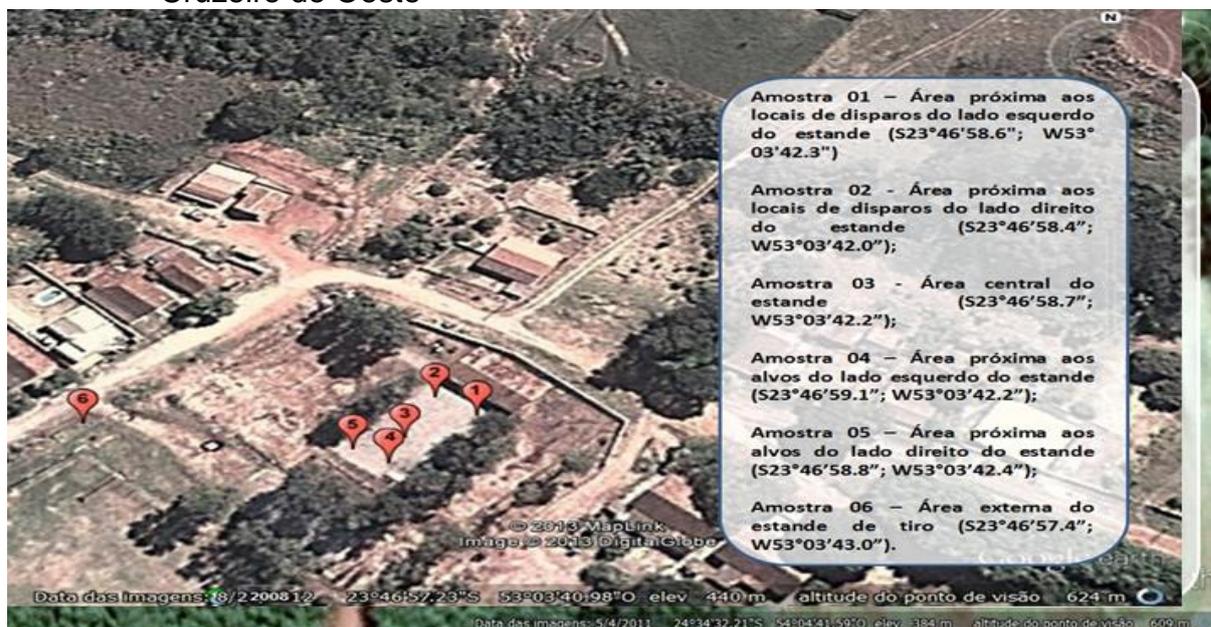
Fonte: Elaborado pelo autor.

Não existiam, quando do funcionamento do estande de tiro, estruturas físicas que fornecessem suporte aos atiradores no momento em que realizavam os disparos.

3.3.3 Estande de tiro da PMPR em Cruzeiro do Oeste-PR

O terceiro local em que foi realizada a coleta de amostras foi o estande de tiro da Polícia Militar localizado na cidade de Cruzeiro do Oeste (Figura 12), que fica na região noroeste do Estado.

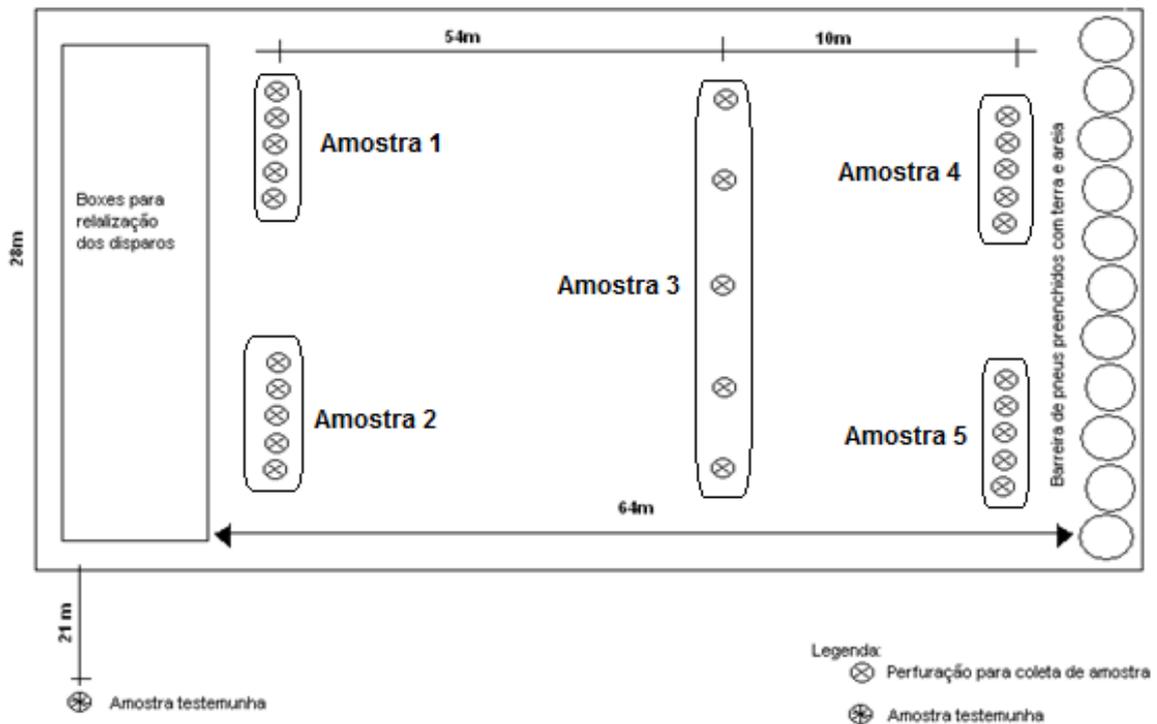
Figura 12 - Descrição, georreferenciamento dos pontos de coleta do Estande de Cruzeiro do Oeste



Fonte: Base de dados Google Maps (2013), adaptado pelo autor.

O estande de tiro possui uma área de 1 792 m², com estrutura coberta para que os atiradores se abriguem durante os disparos (Figura 13).

Figura 13 – Croqui do estande de tiro da PMPR em Cruzeiro do Oeste-PR.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2014.

Há, também, um barranco com uma barreira de pneus preenchidos por terra onde os projéteis ficam alojados após os disparos (Figura 14).

Figura14 – Barreira de pneus preenchida pelo solo do local do Estande de Cruzeiro do Oeste



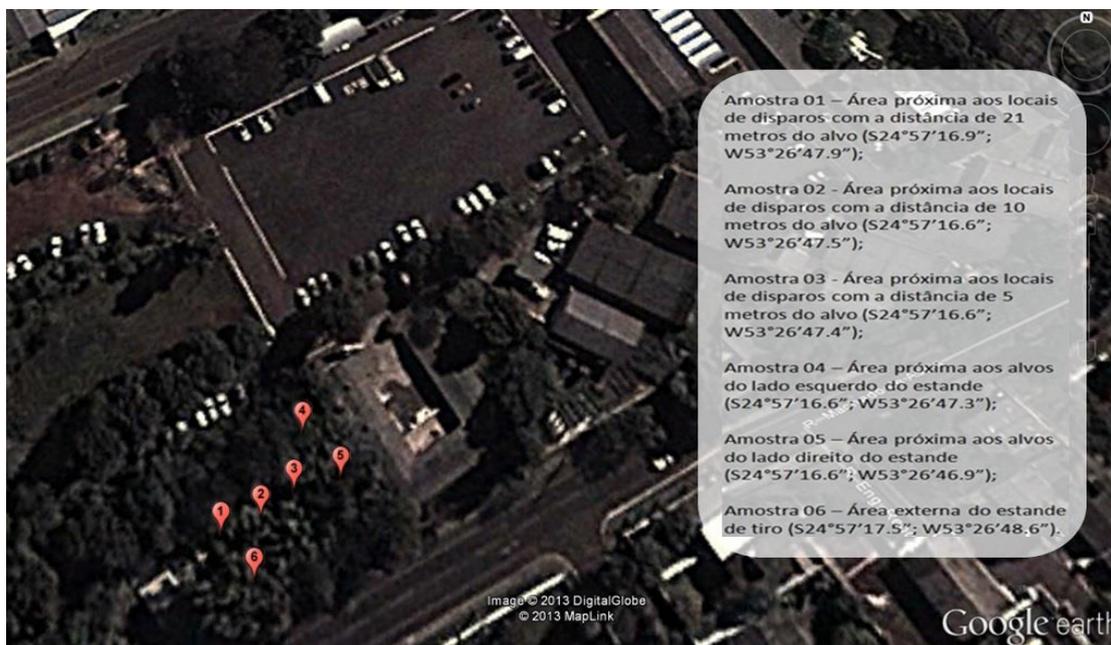
Fonte: Elaborado pelo autor.

O estande se localiza na área urbana do município de Cruzeiro do Oeste e faz parte da estrutura física do hoje 7º Batalhão de Polícia Militar.

3.3.4 Estande de tiro da PMPR em Cascavel-PR

O quarto estande de tiro está localizado nas instalações do 6º Batalhão da PM na cidade de Cascavel, que fica no oeste do Estado (descrições georreferenciadas na Figura 15).

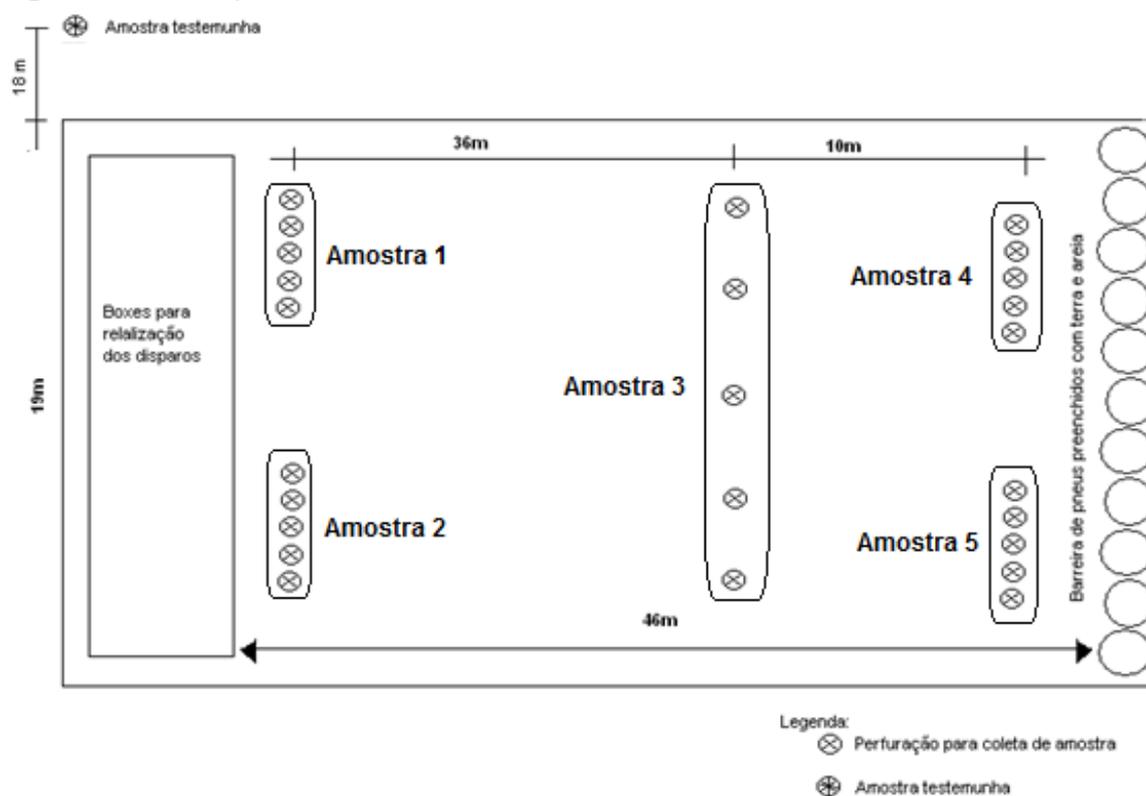
Figura15 - Descrição, georreferenciamento dos pontos de coleta do Estande de Cascavel



Fonte: Base de dados Google Maps (2013), adaptado pelo autor.

O 6º Batalhão, bem como seu estande, se localiza próximo à área central de Cascavel-PR, circundada por instalações e residências funcionais do EB, além de prédios públicos, comércio e residências da comunidade em geral. O estande de tiro fica a céu aberto e ocupa uma área murada de 874 m², tendo boxes para abrigar os atiradores junto às instalações físicas nos fundos do quartel (Figura 16).

Figura 16 – Croqui do estande de tiro da PMPR em Cascavel-PR.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A construção do estande parece ter observado os aspectos de segurança física dos usuários e da população em seu entorno, pois, sobre o estande de tiro, há os chamados “para-balas” (Figura 17) (pórticos de madeira para evitar que algum projétil seja lançado para fora da área de tiro). Os disparos são realizados contra “barrancos” de terra onde está posicionada uma armação de barreira de pneus preenchidos com areia ou a própria terra do local.

Figura17 – Para-balas e barreira de pneus do Estande de Cascavel



Fonte: Elaborado pelo autor.

As instalações estão localizadas na área urbana da cidade de Cascavel, em local densamente povoado.

3.3.5 Estande de tiro da PMPR na APMG em São José dos Pinhais-PR

A quinta área de onde se retiraram as amostras está localizada na APMG, no município de São José dos Pinhais, região metropolitana de Curitiba. É o maior conjunto de estandes de tiro do Estado (Figura 18).

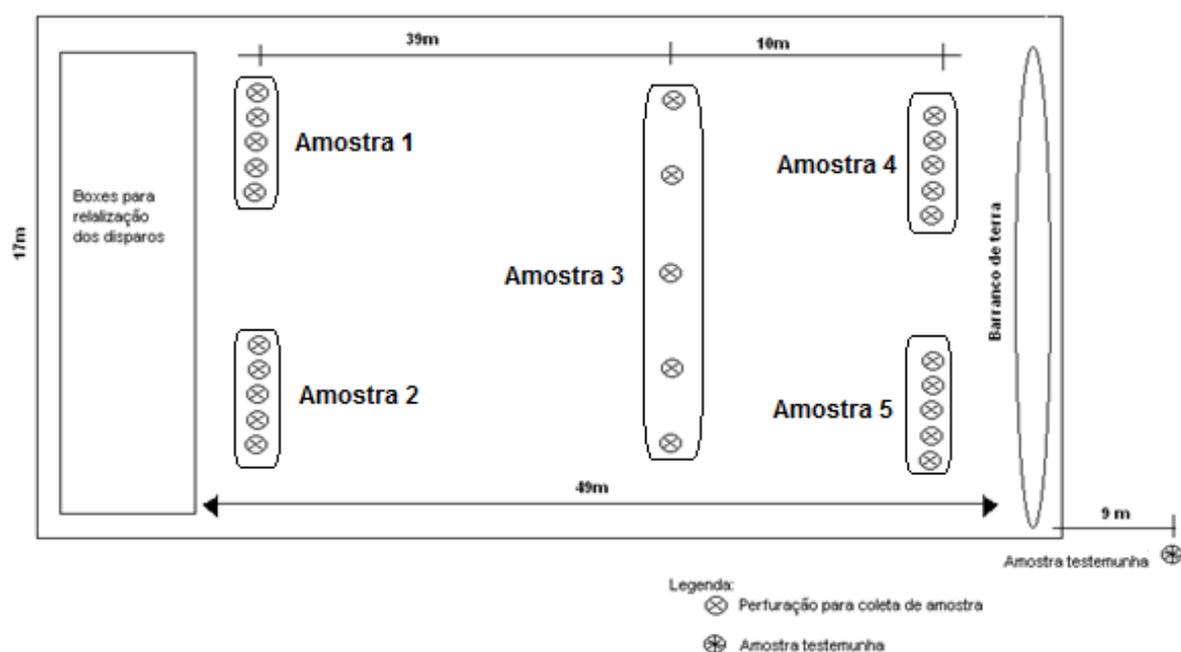
Figura 18 – Vista da distribuição no terreno das áreas de coleta da APMG



Fonte: Base de dados Google Maps (2015), adaptado pelo autor.

Dentre as estruturas estudadas, a primeira foi a de um estande de tiro desativado, com uma área de 833 m², uma construção em alvenaria coberta para que os atiradores se abriguem durante os disparos (Figura19).

Figura 19 – Croqui do estande de tiro desativado da PMPR na APMG, em São José dos Pinhais-PR.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2014.

Como outros estandes de tiro escolhidos há um barranco de terra onde os projeteis ficam alojados após os disparos, em uma área murada ao lado do bloco de alojamentos no setor sul da APMG (Figura 20).

A Figura 20 apresenta a localização do estande bem como apresenta a numeração de 1 a 6 correspondente às amostras coletadas, padrão utilizado nos demais estandes.

Figura 20 - Descrição, georreferenciamento dos pontos de coleta do Estande desativado da APMG



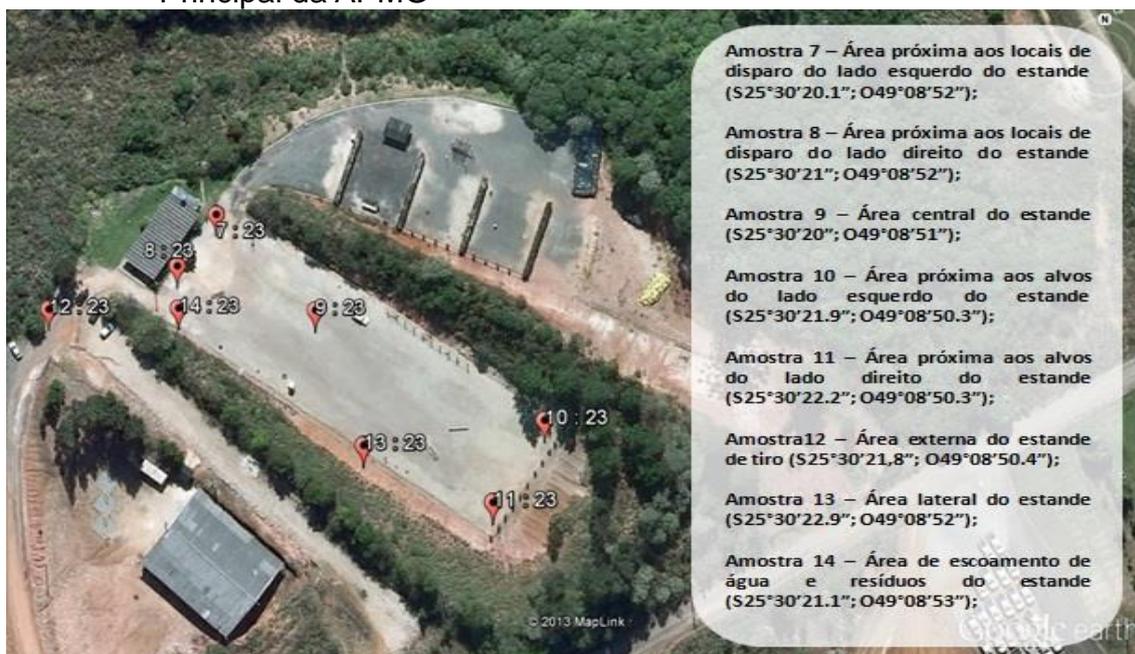
Fonte: Base de dados Google Maps (2013), adaptado pelo autor.

A segunda estrutura pesquisada na APMG (Figura 21) foi um complexo de estandes de tiro onde há um estande de tiro principal e três estandes de tiro secundários. No estande de tiro principal, há um prédio em alvenaria onde se encontram os boxes destinados ao abrigo dos atiradores, num terreno de 88 metros de comprimento por 74 metros de largura.

Neste estande foram coletadas 17 amostras, se trata de uma estrutura

complexa e muito maior que os demais estandes. Como se pode verificar na Figura 21 a numeração vai de da amostra 07 à 12 correspondendo ao padrão dos demais estande que apresentaram amostras de 01 a 06. Na figura é possível observar ainda as amostras 13 e 14 que foram coletadas na lateral do estande.

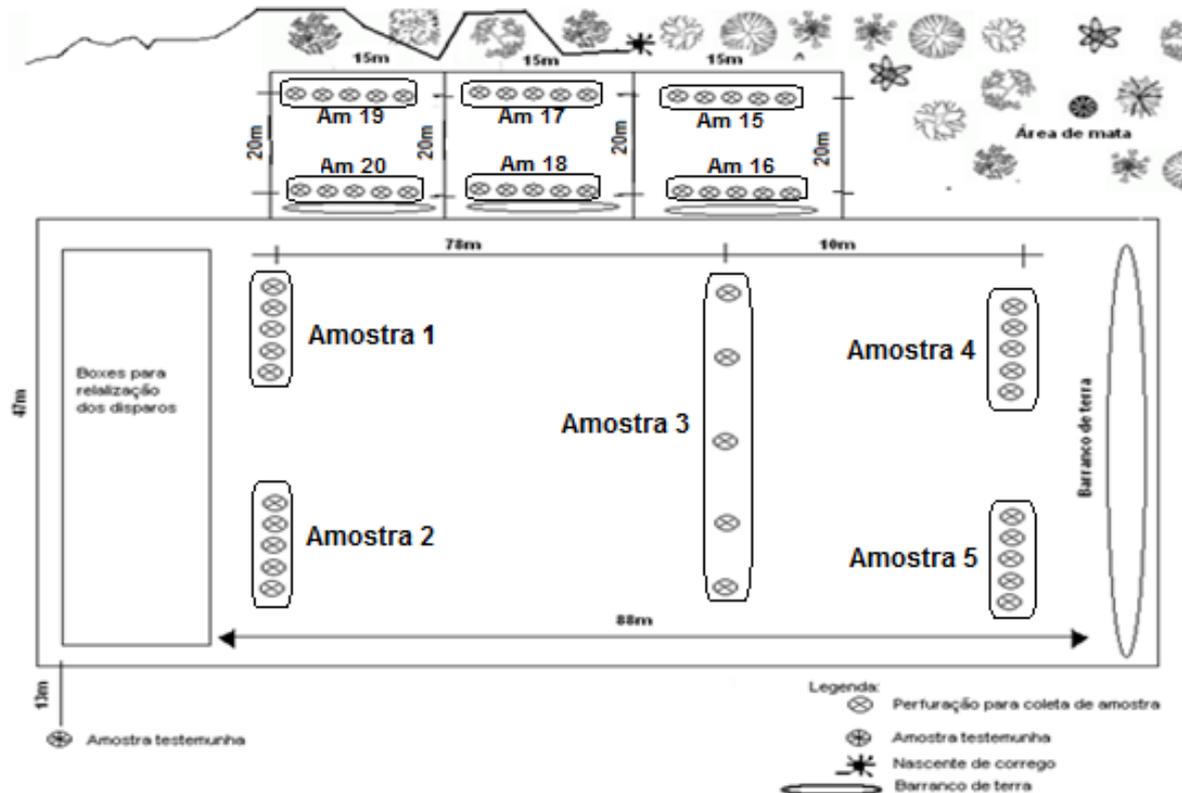
Figura 21 - Descrição, georreferenciamento dos pontos de coleta do Estande Principal da APMG



Fonte: Base de dados Google Maps (2013), adaptado pelo autor.

A terceira estrutura fica ao lado esquerdo desse estande de tiro principal, com outros três estandes de tiro secundários (Figura 22), medindo cada um 35 metros de comprimento por 15 metros de largura, sendo utilizados regularmente para treinamento dos policiais militares.

Figura 22 – Croqui do estande de tiro principal da PMPR na APMG, em São José dos Pinhais-PR.

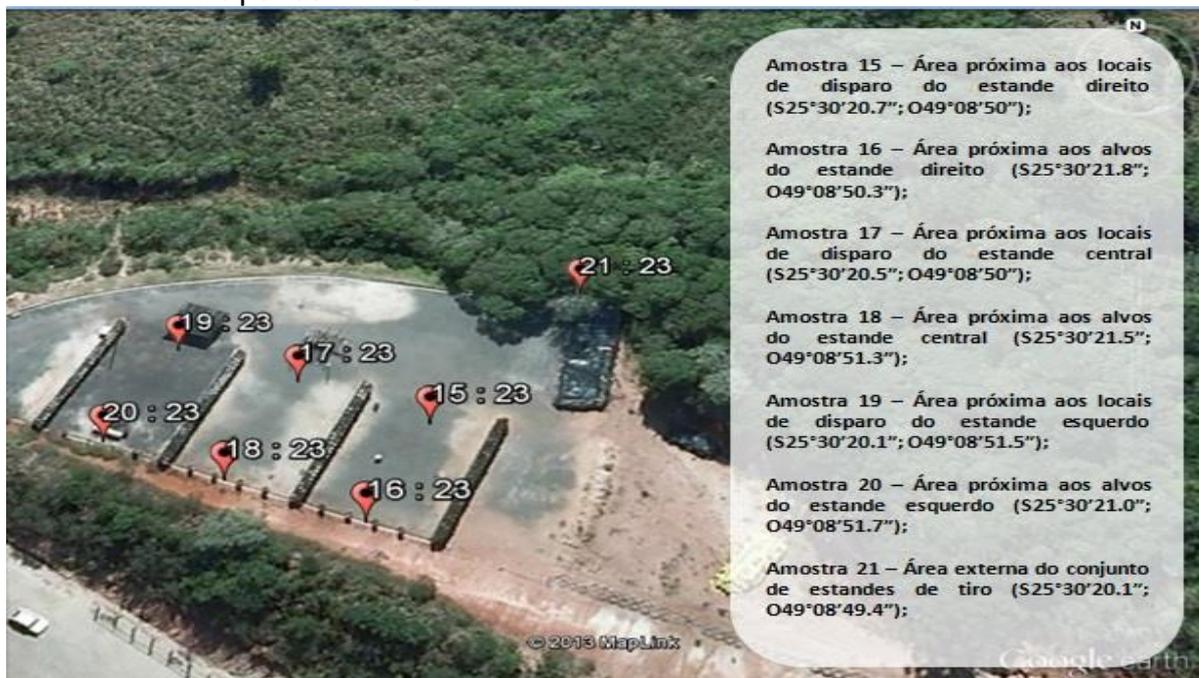


Fonte: Elaborado pelo Autor, 2014.

Esses estandes são também utilizados ativamente pelos policiais militares, alunos dos cursos de formação, aperfeiçoamento ou que estejam em treinamento contínuo na corporação (Figura 23).

É possível visualizar as amostras 16 a 21 que foram coletadas em na área dos estandes secundários e também na mata que circunda a área. Foram coletadas ainda as amostras 22 e 23 ao longo da nascente de água ali existente, todavia não constam na figura.

Figura 23 - Descrição, georreferenciamento dos pontos de coleta do Estande Principal da APMG



Fonte: Base de dados Google Maps (2013), adaptado pelo autor.

Esse complexo é circundado por área de mata, onde existe uma nascente de um córrego que deságua no rio Pequeno, que abastece a estação de tratamento de água da APMG. Nesse local, foram retiradas as duas últimas amostras.

Mesmo não sendo o foco da pesquisa analisar o entorno dos estandes, no momento em que se realizava a coleta das amostras do estande secundário foi observado que, possivelmente, o curso das águas das chuvas direcione a deposição de metais pesados em direção à nascente ali existente, pois se trata de um declive que vai do estande até o curso d'água.

3.4 Determinação dos teores totais dos metais tóxicos

As análises químicas dos solos foram realizadas tendo como metodologia o manual de análises químicas de solo do IAP (PAVAN *et al.* 1992), e conforme metodologia proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) foram realizadas as análises físicas (EMBRAPA, 1997).

Para determinação dos teores obtidos preliminarmente foi utilizada a metodologia da Associação Oficial de Química Analítica (AOAC) de 2012. Foram pesadas 0,5g do material seco e moído em tubos de ensaio, sendo usada a digestão nitroperclórica com uma mistura de ácido nítrico x ácido perclórico em uma proporção de 2:1 submetendo as amostras em temperaturas superiores a 250 graus em blocos aquecedores, em seguida as amostras digeridas foram aferida em balões de 50 ml para posterior retirada de uma alíquota submetida ao aparelho de espectrometria de absorção atômica modo chama (EAA ou FAAS) para determinação dos teores (AOAC, 2012).

As leituras foram realizadas em um Espectrômetro de Absorção Atômica, marca GBC, modelo 932 AA, modalidade chama. Para a determinação dos teores de Cd, Cr, Pb e Al, as amostras foram submetidas à digestão nítrica, conforme metodologia descrita pela AOAC (AOAC, 2012), sendo determinados por espectrometria de absorção atômica modo chama (FAAS) (WELZ, SPERLING, 1999).

Para cada campanha o Espectrômetro de Absorção Atômica foi programado para realizar três leituras da mesma amostra fornecendo diretamente a média das leituras. Logo, se apresentará no trabalho a cada um dos três resultados de cada amostra em determinada campanha. Por fim foram obtidas médias das duas campanhas para se construir os resultados apresentados no trabalho.

3.5 Análise químicas e físicas (granulometria) do solo

Para realização da análise química das amostras foi utilizado o método de pipeta, que tem por base o tempo de sedimentação das partículas de diferentes dimensões em meio líquido (KLEIN, 2008; VITORINO *et al.*, 2007).

O reagente utilizado foi o hidróxido de sódio (NaOH) 1 mol/L, água (H₂O).

Foi utilizada balança analítica, espátula, frascos plásticos com tampa (1000ml), provetas de 100 e 500ml, béqueres (50ml), funil de plástico, esferas de vidro, agitador orbital horizontal, estufas de secagem, bastão de plástico, pipeta volumétrica de 5 e 10ml, pissete (500ml), pera, peneira de 270 mesh (0,053mm).

As amostras foram secas em estufa (terra seca em estufa TFSE) a 45°C por 48 horas, destorroadas e passadas em peneiras de malha 2mm de diâmetro; pesadas 10g de TFSE em um frasco plástico de 1 L; adicionados 5 ml de NaOH 1 molL⁻¹; adicionados 100 ml de água; adicionadas 3 esferas de vidro; agitado durante 2 horas em agitador orbital horizontal em velocidade 200rpm; transferida toda a mistura para proveta de 500 ml e aferida com água; com auxílio de um bastão de vidro, agitado o conteúdo da proveta, durante 20 segundos; após 4 horas de repouso, pitado 10 ml da solução a uma profundidade de 5 cm (fração argila), transferido o conteúdo para béquer de 50 mL – previamente limpo, seco em estufa a 100°C por 18 horas; na sequência pipetadas as alíquotas, passar todo o conteúdo restante da proveta em peneira de 270mesh (0,053 mm) para separar a fração areia; recolhido o conteúdo d areia da peneira com auxílio de um pissete e transferido para béquer de 50 mL – limpo, seco em estufa a 100°C por 3 horas, pesado e numerado – e levar para estufa onde permaneceram 18 horas a 100°C.

Os cálculos foram os seguintes:

$$\text{Argila} = P \cdot (100/0,2) \cdot 10$$

Onde P= peso da fração (argila + silte); 100/0,2 = peso do NaOH; 10 = multiplica-se por 10 para se obter resultado em g/kg.

$$\text{Silte} = 1000 - (\text{fração argila} + \text{areia}).$$

$$\text{Areia} = \text{Peso da areia coletado na amostra} \times 100.$$

Como já foi citado, os resultados apresentados foram conseguidos utilizando-se a metodologia para análise química descrita no manual de análises químicas do Instituto Agrônomo do Paraná (PAVAN *et al*, 1992).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos, com base no método utilizado, sobre os teores totais dos elementos Cd, Cr, Pb e Al no solo de cada um dos estandes de tiro pesquisados. O conjunto dos resultados mostra a extensão da contaminação dos solos nesses espaços.

4.1 Teores totais dos elementos tóxicos no solo

O trabalho apresenta o questionamento acerca da possibilidade de os solos dos estandes de tiros pesquisados estarem contaminados por metais pesados, em particular e com maior preocupação pelo Pb.

Foram verificados vários aspectos dos solos dos estandes, sendo elaborados laudos de análise química (rotina e nutrientes), laudos de análise física (análise granulométrica-textura) e laudos especiais apresentando a concentração dos metais pesquisados.

O trabalho identificou os tipos de solo, não se olvidando de que, na composição do solo, a matéria orgânica agrega partículas minerais, conferindo ao solo condições favoráveis de porosidade e aumentando a retenção de água,

característica responsável, em grande parte, pela CTC dos solos (FRANCESCHET, 2006).

Franceschet (2006) entende que a CTC de um solo indica a reserva de nutrientes para as plantas, a possibilidade de redução das perdas de cátions por lixiviação e a inativação de compostos tóxicos.

Almeida (2009), ao citar Tedesco *et al.* (1995), garante que a CTC pode variar desde valores próximos de zero (para solos arenosos) até a 20-30 cmolc dm⁻³(para solos férteis). A mesma autora destaca que:

A CTC é um parâmetro importante na retenção dos poluentes orgânicos e outro íons menos móveis, indicando a capacidade de retenção do solo. Refere-se à maior ou menor capacidade que o solo possui em trocar cátions para neutralizar as cargas negativas, sendo função da textura, mineralogia e pH do solo. Ela pode ser alterada se houver variação do pH e, a medida que o material vai sendo saturado pela passagem do contaminante, seu valor vai diminuindo (ALMEIDA, p. 103, 2009).

A CTC de um solo se reveste de um atributo fundamental para a determinação de suas propriedades químicas e fertilidade potencial; indica, ainda, a reserva de nutrientes para as plantas, dentre outros aspectos (MAZZUCO, 2008).

Tedesco *et al.* (1995), citados por Almeida (2009) defendem que o solo é constituído por um sistema físico-químico heterogêneo. Assim, a determinação exata da capacidade de troca é praticamente impossível, conseqüentemente, os resultados obtidos são influenciados por diversos parâmetros do método de determinação, seja pela natureza e concentração do íon trocante, pH da solução, temperatura, dentre outros.

Com relação às propriedades físico-químicas dos solos pesquisados, os dados apresentados na Tabela 1 demonstram a diversidade de materiais existentes ao longo do estado do Paraná, ressaltando ainda mais a importância de se analisar os teores de Pb no solo dos estandes de tiro no estado. Foram avaliados três típicos latossolos em Marechal, Guaíra e Cascavel; um argissolo em Cruzeiro do Oeste e os cambissolos provenientes dos estandes de tiro de Curitiba.

Tabela 1 - Valores médios dos teores de argila, silte, areia e capacidade de troca catiônica (CTC) das áreas de estande de tiro no estado do Paraná.

Estande de tiro	Argila	Silte	Areia	CTC
		g kg ⁻¹		cmol _c dm ⁻³
M. C. Rondon	394,62	428,88	177,94	12,48
Cascavel	413,92	429,25	156,83	8,45
Guaira	411,43	116,41	472,16	7,57
Cruzeiro d'Oeste	144,71	144,71	790,78	7,51
Curitiba I	393,08	234,98	371,94	8,31
Curitiba II	287,50	320,61	391,89	22,85
Curitiba III	191,71	279,43	528,86	15,15
Curitiba IV	160,25	255,42	584,33	12,58

Curitiba I = Estande de tiro desativado; Curitiba II = Estande de tiro principal; Curitiba III = Estande de tiro secundário; Curitiba IV = Área de manancial.

Fonte: Elaborado pelo Autor

De acordo com os valores apresentados na análise granulométrica (teores de argila silte e areia), as amostras de Marechal Cândido Rondon, Cascavel, Guaira e o estande de tiro desativado de Curitiba (Curitiba I) apresentaram elevados teores de argila, sendo essa uma propriedade característica dos solos do oeste do estado dado serem todos solos argilosos do tipo 3 ($\geq 35\%$ de argila) (MAPA, 2008).

Observando a mesma instrução normativa, os solos coletados nos demais estandes de tiro em Curitiba foram classificados como tipo 2 (com teor mínimo de 15% de argila e menor do que 35%, nos quais a diferença entre o percentual de areia e o percentual de argila seja menor do que 50). Já o solo de Cruzeiro d'Oeste foi o único que se enquadrou na classe 1, sendo considerado como solo arenoso ($\leq 15\%$ de argila) (MAPA, 2008).

Tais informações justificam os valores da capacidade de troca de cátions (CTC) apresentados por estes solos, uma vez que essa característica está altamente correlacionada ao teor de argila. A CTC corresponde à soma das cargas negativas presentes nas partículas do solo (fração argila e matéria orgânica)

retendo cátions, como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), sódio (Na^+), alumínio (Al^{3+}) e hidrogênio (H^+), ou seja, a CTC corresponde à quantidade de elementos que o solo pode reter. Com isso, solos com maiores CTCs possuem maiores chances de manter cátions adsorvidos em suas superfícies, inclusive metais tóxicos, como Cd, Cr e Pb, enquanto os solos de menores CTCs possuem maior facilidade em liberá-los tanto para as plantas, quanto para os lençóis freáticos, representando um risco para o ambiente.

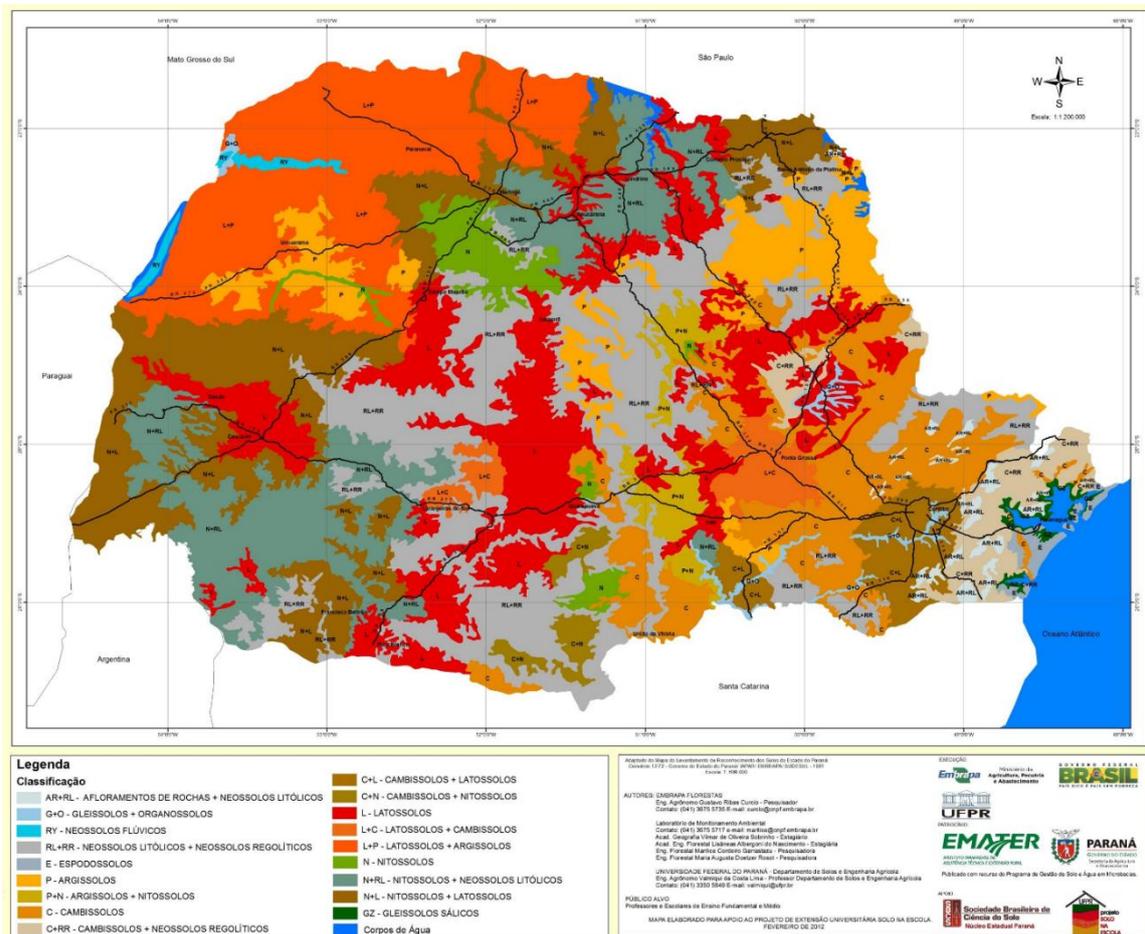
Com isso, novamente deve-se destacar o solo de Cruzeiro do Oeste, que apresenta o menor valor de CTC identificado, justamente pelo seu alto teor de areia, caracterizando a baixa presença de sítios adsorptivos para a retenção de cátions em suas partículas estruturais. Quanto aos solos de Guaíra e Cascavel, os baixos valores podem ser justificados pelo fato desses não serem agricultáveis, não recebendo, portanto, correção mineral ao longo do tempo, com elevada heterogeneidade e intemperismo, caracterizando assim os valores encontrados.

Todos esses solos caracterizam-se pela alta probabilidade de liberar os elementos presentes para o ambiente, seja por fitoextração ou lixiviação para subsuperfície e, conseqüentemente, lençóis freáticos e águas subterrâneas, sendo de extrema preocupação a presença de contaminantes em sua composição.

Para os demais solos, a EMBRAPA (EMBRAPA, 2007) classifica os solos com CTCs acima de 9,0 como solos de boa CTC, ou seja, possuem uma satisfatória capacidade de reter esses metais em suas superfícies estruturais, porém o risco consiste nesses elementos estarem continuamente presentes no solo ao longo do tempo.

A pesquisa apurou que os estandes de tiro analisados apresentam diferentes tipos de solo, como é característica do Estado do Paraná (Figura 24).

Figura 24 - Mapa simplificado de solos do Estado do Paraná



Fonte: Emater-PR (2012)

Como se verifica pelo descrito acima, para se determinar os níveis de contaminação de um solo, deveria se levar em conta, além dos níveis naturais de cada tipo de solo das diversas regiões do país, o pH e a CTC do solo, pois os níveis de concentração de determinado metal são influenciados diretamente por esses dois aspectos. Como consequência da relação descrita, os valores de concentração de metais que determinam a contaminação de um solo deveriam ser diferentes para cada tipo de solo.

Diante desse cenário, todavia, para a consecução do trabalho, o parâmetro adotado foi o jurídico haja vista que é a vertente da lei que determina a imposição de sanções e obrigatoriedade de execução de medidas de intervenção, de

interdição e de correção no concernente a uma possível contaminação. E o instituto jurídico que dá suporte à constatação de índices de contaminação é a Resolução 420/2009 do CONAMA.

Tal Resolução estabelece os Valores Orientadores, concentrações de substâncias químicas que fornecem referência sobre a condição de qualidade de solo e de águas subterrâneas. Esses valores são empregados como instrumentos para prevenção e controle da contaminação e gerenciamento de áreas contaminadas sob investigação em todo o território nacional.

Como exemplo, em consonância com os ditames da Resolução 420/2009, na legislação do estado de São Paulo, esses valores dividem-se em valor de referência de qualidade – VRQ, valor de prevenção – VP e valor de intervenção – VI (agrícola, residencial e industrial) (CETESB, 2014b).

A Resolução 420/2009 não apresenta uma distinção de valores para cada tipo de solo. Essa indeterminação jurídica acarreta uma implicação para a inferência sobre os resultados alcançados no presente trabalho. Seguindo a linha de raciocínio de que os parâmetros para a definição dos Valores Orientadores são os mesmos para todo o território nacional, o aspecto técnico, que deveria levar em conta o pH e a CTC do solo, se verifica secundário sob o ponto de vista legal.

Assim, ao se analisar os níveis de concentração de metais pesados no solo dos estandes, não se considerou o tipo de solo como fator decisivo para se determinar a maior ou menor concentração, mas sim o aspecto jurídico que define a obrigatoriedade ou não de uma intervenção, com consequentes implicações de responsabilidade civil, administrativa e penal.

A Tabela 2 apresenta os Valores Orientadores de substâncias para solos e águas subterrâneas, tomados como parâmetros para todo o território nacional, definidos pela Resolução 420/2009 do CONAMA.

Tabela 2 - Valores orientadores de substâncias para solos e águas subterrâneas

Substância	CAS n°	Solo (mg/kg de peso seco)				Água
						Subterrânea
						(µg L ⁻¹)
		Prevenção	Investigação			Investigação
			Agrícola	Residencial	Industrial	
			APMax			
Alumínio	7429-90-5	-	-	-	-	3.500**
Cádmio	7440-48-4	1,3	3	8	20	5*
Chumbo	7440-43-9	72	180	300	900	10*
Cromo	7440-47-3	75	150	300	400	50*

* Padrões de portabilidade de substâncias químicas que representam risco à saúde definidos na Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde.

** Valores calculados com base em risco à saúde humana, de acordo com o escopo desta Resolução. Diferem dos padrões de aceitação para consumo humano definidos na Portaria no 518/2004 do Ministério da Saúde e dos valores máximos permitidos para consumo humano definidos no Anexo I da Resolução CONAMA no 396/2008.

Fonte: Resolução 420/2009-CONAMA – organizado pelos autores

Como já salientado anteriormente, os Valores Orientadores para a pesquisa têm por base a Resolução 420/2009 do CONAMA, determinando, dessa forma, as discussões e análises dos resultados obtidos conforme o descrito a seguir.

4.2 Resultados obtidos a partir das determinações de metais (Cr, Cr, Pb e Al) dos estandes de tiros analisados

Os dados apresentados nas tabelas das respectivas análises especiais são o resultado (para os valores de Cd, Pb, Cr e Al) das médias das amostras das campanhas realizadas durante a pesquisa.

4.2.1 Estande de tiro particular em Marechal Cândido Rondon-PR

O estande de Marechal Cândido Rondon é uma propriedade particular e está em atividade há cerca de 30 anos de forma regular, porém não intensa, pelos associados que representam algo em torno de 40 atiradores. O local é cedido eventualmente para a prática de treinamento de tiro de policiais civis e militares de Marechal Cândido Rondon e região. Mesmo não se tratando de um estande de

intensiva utilização, o entendimento é de que se pode extrair dele subsídios para comparação com os demais estandes que são ou foram de uso intensivo, buscando--se identificar um parâmetro para se criar uma tendência sobre os estudos de estandes de tiro.

O referido estande se localiza em uma área agrícola, está sendo readequado e ampliado para o uso dos associados e policiais. No local, os praticantes de tiros utilizam armas longas e curtas.

Quanto aos valores da Análise Especial, pode-se perceber elevados valores de Al (Tabela 3), porém isso se deve à metodologia utilizada na preparação (digestão) da amostra, ou seja, apesar desses valores, apenas uma quantidade mínima apresentada na análise de rotina encontra-se disponível no solo. Tais valores podem ser justificados pela grande quantidade de componentes no solo com esse elemento em sua constituição.

Tabela 3 - Valores médios obtidos (duas campanhas realizadas) dos teores de Al, Cd, Pb e Cr das áreas do estande de tiro particular de Marechal Candido Rondon-PR.

Amostra		Al	Cd	Pb	Cr
	Unidade	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
	LQ ¹	0,01	0,005	0,01	0,01
Amostra 1		27,86	<0,005	176,00	16,50
Amostra 2		12,06	<0,005	132,00	27,50
Amostra 3		23,65	<0,005	990,00	15,50
Amostra 4		31,28	<0,005	1388,00	17,50
Amostra 5		29,47	<0,005	258,00	18,00
Amostra 6		31,07	<0,005	76,00	22,00

1- Limite de quantificação (LQ) do método EAA/chama
Campanha 1 MCR – 15 abr2013 - Campanha 2 MCR – 26 jun2015
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os valores de concentrações de Cd demonstraram estar abaixo do Limite de Quantificação (LQ) (0,005 mg/kg). Com relação ao Cr, foram encontradas concentrações dentro do permitido pela legislação nacional vigente (CONAMA n° 420/2009) que estabelece a concentração de 75 mg/kg como Limite de Prevenção (LP) para esse metal.

No que tange aos teores de Cr, foi apurado, Tabela 3, que os resultados das

amostras estão acima do LP delimitado na Resolução 420/2009 do CONAMA, que é de 75,00 mg/kg. Todas as amostras apresentaram níveis abaixo do LP para áreas agrícolas não suscitando maiores preocupações.

Pode-se observar, ainda, que os teores de Al apresentam valores consideráveis, todavia, como os órgãos de saúde e meio ambiente ainda não disponibilizaram valores de referência para o Al em solos, a análise desses valores ficou prejudicada (SILVA, 2011). Já os teores de Cd ficaram abaixo dos valores de prevenção da Resolução 420/2009 do CONAMA.

Quanto ao Pb, sabe-se de sua propriedade de alta retenção no solo, além da baixa mobilidade, sendo considerado, portanto, um dos elementos menos móveis no solo (SANTOS, 2005). Os teores de Pb se mostram alarmantes, ultrapassaram em muito os níveis em determinadas amostras. Todas as amostras estão acima do LP para áreas agrícolas, que é 72,00 mg/kg. Como é o caso dos valores obtidos das médias das amostras 3, 4 e 5 da 1ª e da 2ª campanha, as quais apresentaram os teores de 990,00 mg/kg, 1388,00 mg/kg e 258,00 mg/kg respectivamente.

Os resultados já seriam alarmantes se a área fosse industrial, com LInv de 900,00 mg/kg. Cabe salientar que o referido estande se encontra em área agrícola cujo LInv é de 180,00 mg/kg, portanto, o resultado da amostra 3 está 7,7 vezes maior do que o permitido para aquele limite.

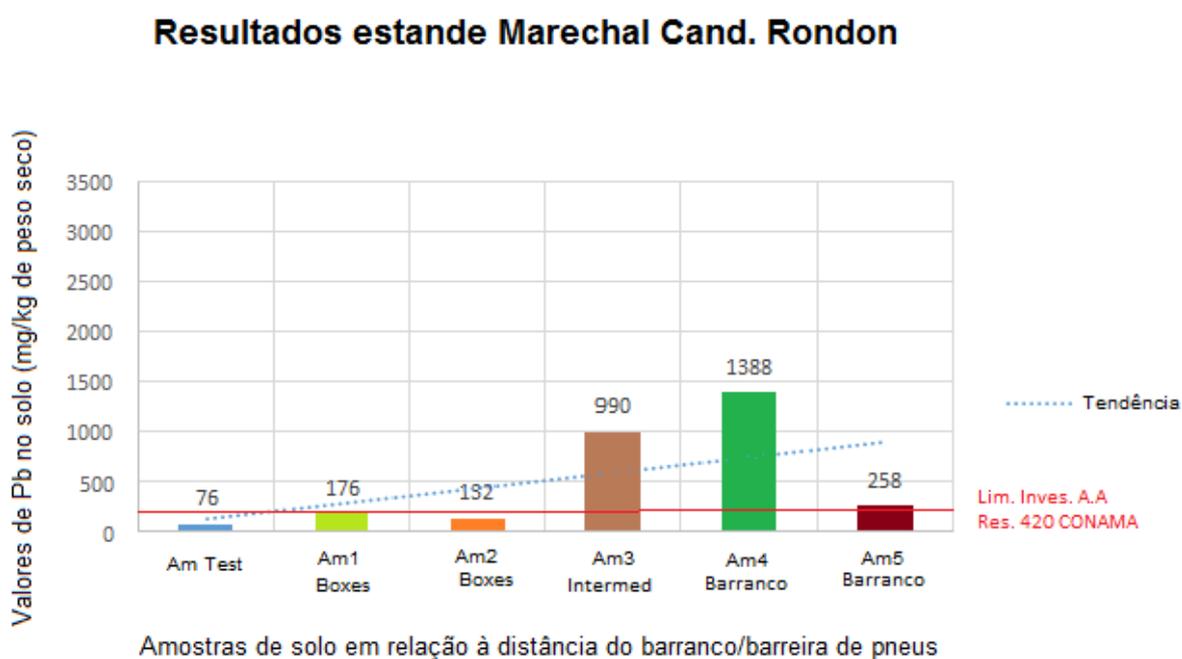
Os dois primeiros valores ultrapassam os 900,00 mg/kg que constitui o maior Limite de Investigação (LInv), que é o das áreas industriais, sendo 900,00 mg/kg. Cabe salientar que o referido estande se encontra em área agrícola cujo LInv é de 180,00 mg/kg, portanto, a amostra 5 também ultrapassou o referido limite.

Podem-se observar maiores valores na amostra 1 quando comparada à 2, assim como a 4 quando comparada à 5, em razão da maior utilização do lado esquerdo do estande, o que foi facilmente visualizado durante a coleta. Com base nesse fator, também se pode considerar a elevada concentração de chumbo na amostra 4, uma vez que esse local vem sendo utilizado com mais intensidade, possuindo uma maior concentração de resíduos nos mais variados estados de

decomposição em sua área.

Como se observa no Gráfico1 abaixo, o comportamento do Pb, no estande de Marechal Cândido Rondon, apresenta uma tendência de concentração maior próxima ao barranco onde ficam alojados os projéteis. Observa-se que a relação de distância entre os resultados das amostras e o barranco ou barreira de pneus se deu conforme o descrito nos croquis apresentados nos procedimentos metodológicos.

Gráfico 1 – Resultados análise especial estande Marechal Cândido Rondon



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os resultados demonstram que há necessidade de intervenção, conforme a legislação vigente.

4.2.2 Estande de tiro particular (desativado) em Guaíra-PR

O estande de Guaíra foi utilizado com o objetivo de encontrar um parâmetro para se entender o comportamento dos metais no solo ao longo do tempo, pois o referido estande se encontra desativado há mais de 08 anos. A pesquisa apurou que o estande foi utilizado por cerca de 10 anos, de forma irregular e não intensa. O local se constituía em um estande familiar que, ao longo do tempo, foi cedido eventualmente para a prática de treinamento de tiro de policiais civis, militares e federais de Guaíra. Mesmo não se tratando de um estande institucional, o entendimento é de que se pode extrair dele subsídios para comparação com os demais estandes que são ou foram de uso intensivo. Há possibilidade de se identificar um parâmetro para se criar uma tendência sobre os estudos de estandes de tiro.

O referido estande se localiza em uma área agrícola, e hoje está coberto por vegetação, já não podendo ser reconhecido como uma área que foi um dia local utilizado para a prática de tiro.

Em relação aos resultados encontrados no estande de tiro de Guaíra, foi constatado, conforme Tabela 4, que os teores de Al apresentaram níveis expressivos, como no caso do estande de Marechal Cândido Rondon. Os teores de Cd ficaram abaixo dos valores de prevenção conforme a Resolução 420/2009 do CONAMA. Todavia, a amostra 1 apresentou o valor de 5,00 mg/kg, valor acima do Linv para área agrícola, que é de 1,30 mg/kg.

Tabela 4 - Valores médios (duas campanhas realizadas) dos teores de Al, Cd, Pb e Cr das áreas do estande de tiro particular em Guaíra-PR.

Amostra		Al	Cd	Pb	Cr
	Unidade	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
	LQ	0,01	0,005	0,01	0,01
Amostra 1		28,39	5,00	308,00	22,00
Amostra 2		18,85	1,00	94,00	20,50
Amostra 3		21,43	1,00	201,50	28,50
Amostra 4		20,78	1,00	146,50	13,50
Amostra 5		19,36	1,00	355,00	15,50
Amostra 6		17,02	1,00	59,50	19,50

Campanha 1 Guaíra – 23 mai2013 - Campanha 2 Guaíra – 17 jul2015

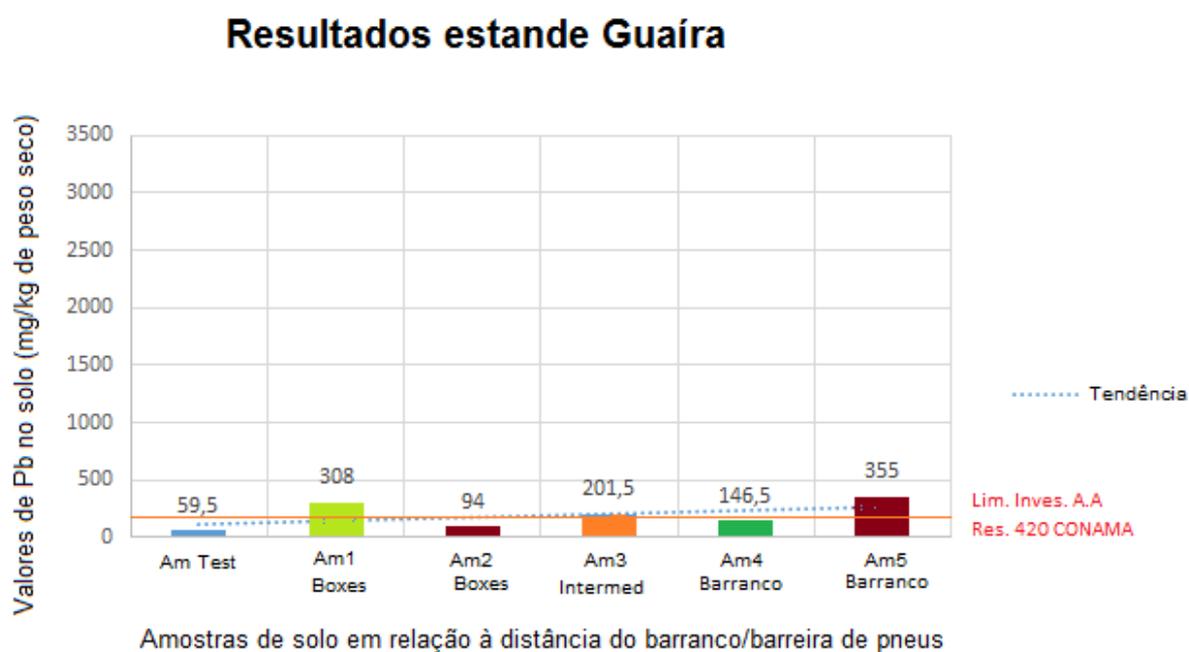
Fonte: Elaborado pelo Autor.

No que concerne aos teores de Pb, os resultados obtidos novamente geram grande preocupação, pois estão acima dos níveis permitidos. É o que se verifica nos resultados das amostras 1, 3 e 5, que apresentaram teores de 308,00 mg/kg, 201,50 mg/kg e 355,00 mg/kg respectivamente. Os resultados apresentados ultrapassam os 180,00 mg/kg que se constitui o LINV em área agrícola.

Os teores de Cr estão abaixo do LP, não constituindo uma preocupação premente.

O Gráfico 2 abaixo apresenta o comportamento do Pb no estande que já se encontra desativado. Excetuando-se o resultado da amostra testemunha, as demais se encontram acima dos valores de investigação.

Gráfico 2 – Resultados análise especial estande Guaira



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Em que pese a tendência de estabilização, os valores de concentração de Pb tendem a ser maiores quanto mais próximo do barranco do estande.

4.2.3 Estande de tiro da PMPR em Cruzeiro do Oeste-PR

O estande de tiro de Cruzeiro do Oeste pertence à PMPR e é utilizado intensamente há mais de 30 anos. No local, são realizados treinamentos dos alunos do Curso de Formação de Soldados (CFSd) da região, além do treinamento dos policiais militares pertencentes ao Batalhão de Cruzeiro do Oeste.

Para se ter uma dimensão da utilização do local, é importante destacar que, de 2011 para 2012, foi realizado um CFSd no qual se formaram 59 alunos que utilizaram as dependências do estande, e, conforme o Plano de Ensino do Curso⁶, cada aluno realizou algo em torno de 230 disparos de pistola Taurus⁴⁰⁷, com munição da Companhia Brasileira de Cartuchos (CBC) (sem somar os disparos de revólver³⁸ e espingarda calibre 12), atingindo-se um total de 13.570 tiros.

Levando em conta que utilizaram munição de treinamento cujo projétil de Pb pesava 160 Grain (gr) ou 10,3678256 gramas (g) (TAURUS, 2005), a deposição de Pb no estande de tiro foi de aproximadamente 140,691 quilos.

O estande se localiza em uma área residencial. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos no estande de Cruzeiro do Oeste. No que diz respeito aos teores de Al, também os índices foram significativos, com níveis acima do permitido, porém a não regulamentação impediu uma análise mais detalhada sob a ótica da legalidade.

⁶ Plano de Ensino é o documento em que consta o planejamento sobre a formação dos soldados da PMPR.

⁷ Informações extraídas do Plano de Ensino da PMPR do ano 2010, em que consta o número de disparos a serem realizados pelos policiais militares em formação.

Tabela 5 - Valores médios (duas campanhas realizadas) dos teores de Al, Cd, Pb e Cr das áreas do estande de tiro da PMPR em Cruzeiro do Oeste-PR.

Amostra		Al	Cd	Pb	Cr
	Unidade	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
	LQ	0,01	0,005	0,01	0,01
Amostra 1		7,93	6,00	46,00	6,50
Amostra 2		7,53	8,00	38,00	2,50
Amostra 3		6,59	4,00	43,50	0,50
Amostra 4		7,53	1,00	2707,00	3,00
Amostra 5		7,19	1,00	2462,50	2,50
Amostra 6		8,41	1,00	57,00	1,00

Campanha 1 Cruzeiro – 23 mai 2013 - Campanha 2 Cruzeiro – 10 jul 2015

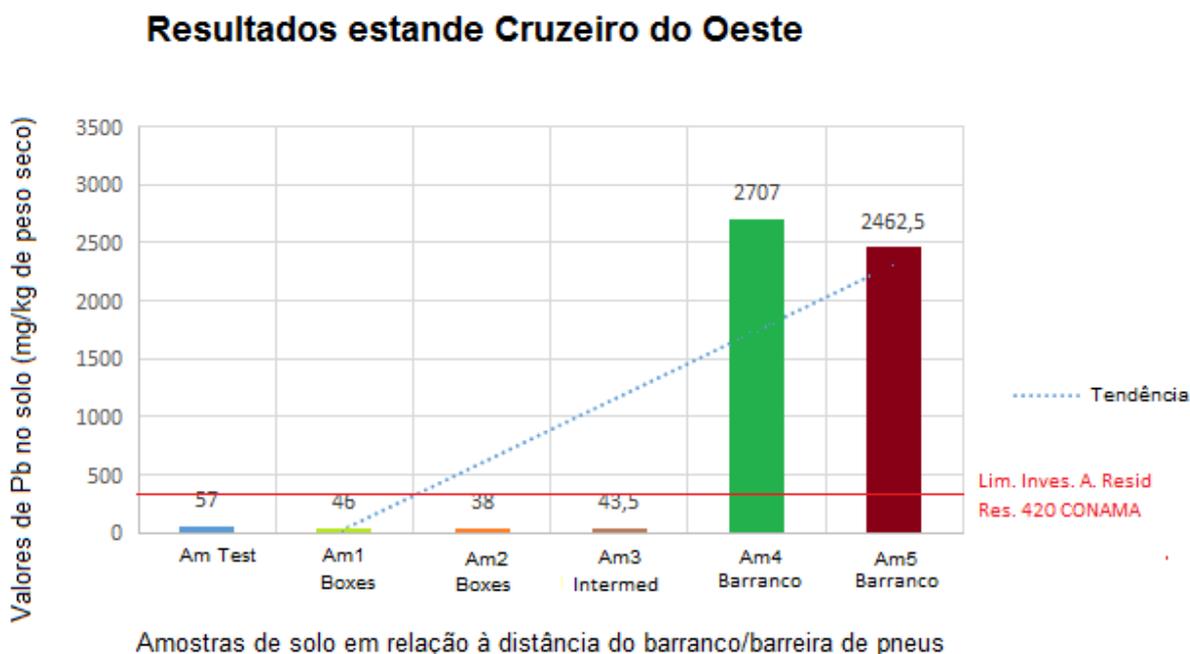
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Já os teores de Cd ultrapassaram o LP da Resolução 420/2009 do CONAMA, que é de 1,30 mg/kg, tendo destaque as amostras 1, 2 e 3 que apresentaram os valores de 6,00 mg/kg, 8,00 mg/kg e 4,00 mg/kg. A amostra 3 chegou no limite para o valor de investigação definido pela legislação.

Seguindo a tendência dos estandes anteriores, mais uma vez os teores de Pb ficaram muito acima do que é permitido para o valor de investigação. Como é o caso das amostras 4 e 5, que resultaram em 2.707,00 mg/kg e 2.462,50 mg/kg respectivamente. Esses índices ultrapassam (em mais de 9 vezes, como é o caso da amostra 4) o valor de investigação para área residencial, que é de 300,00 mg/kg.

Os teores de Cr estão dentro do LP, não ensejando intervenção ou cuidados mais apurados.

Gráfico 3 – Resultados análise especial estande Cruzeiro do Oeste



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O Gráfico 3 acima apresenta os níveis de Pb no estande. As amostras mais distantes do barranco apresentam baixos níveis de concentração de Pb, salientando-se que esses índices estão abaixo do valor de investigação para área residencial. Verifica-se a tendência de maior concentração nas amostras 4 e 5, que foram retiradas do barranco emparedado por pneus. E, como já foi demonstrado, apresentam índices alarmantes, que ultrapassam em mais de 9 vezes o valor de investigação.

4.2.4 Estande de tiro da PMPR em Cascavel-PR

O estande de tiro pertencente à PMPR em Cascavel fica em uma área residencial densamente povoada. As águas das chuvas correm da direção do barranco para os boxes, de onde seguem para a rede pluvial administrada pela empresa de saneamento, sem nenhum tratamento, atingindo os afluentes que margeiam o município de Cascavel.

Do mesmo modo que Cruzeiro do Oeste, no ano de 2013, no estande de tiro da PMPR do 6º Batalhão, na cidade de Cascavel, a corporação utilizou para treinamento dos soldados ingressantes na corporação pistolas Taurus calibre .40⁸, com cartuchos da CBC.

Foram formados 91 policiais militares⁹. Estes por sua vez utilizaram munição de treinamento cujo projétil de Pb pesava 160 gr ou 10,3678256 g (TAURUS, 2005). Cada policial realizou algo em torno de 250 disparos durante num total de 22.750 tiros. Assim, foram depositados no barranco do estande de tiro aproximadamente 235,86 quilos de Pb somente no ano de 2013.

Neste caso não está somado o treinamento dos demais policiais militares do 6º Batalhão, número superior a 350 policiais. Todo o Pb ficou depositado no local sem que exista qualquer tratamento, material que poderia ser reutilizado na fabricação de novos projéteis para treinamento.

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos no citado estande. No que diz respeito aos teores de Al, os resultados demonstram grande concentração do metal, contudo, a inexistência de regulamentação pela Resolução 420/2009 do CONAMA não permitiu uma avaliação como dos demais metais.

Tabela 6 - Valores médios (duas campanhas realizadas) dos teores de Al, Cd, Pb e Cr das áreas do estande de tiro da PMPR em Cascavel-PR.

Amostra		Al	Cd	Pb	Cr
	Unidade	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
	LQ	0,01	0,005	0,01	0,01
Amostra 1		46,13	5,00	265,50	39,50
Amostra 2		43,11	3,00	823,50	31,50
Amostra 3		39,27	2,00	1010,00	38,00
Amostra 4		25,83	1,00	1889,50	18,50
Amostra 5		31,71	2,00	1606,50	26,50
Amostra 6		46,22	3,00	304,50	39,50

Campanha 1 Cascavel – 14 Abr2013 - Campanha 2 Cascavel – 26 jun2015

Fonte: Elaborado pelo Autor.

⁸Informações extraídas do Plano de ensino da PMPR do ano 2010, em que consta o número de disparos a ser realizado pelos policiais militares em formação.

⁹Dados obtidos por meio da imprensa e confirmados pela seção de pessoal do 6º BPM.

Quanto aos teores de Cd, somente a amostra 4 não ultrapassou o LP da Resolução 420/2009 do CONAMA, que é 1,30 mg/kg. Já as demais amostras apresentaram valores acima do VP. Sendo que as amostras 1, 2, 3, 5 e 6 tiveram os seguintes resultados respectivamente: 5,00 mg/kg, 3,00 mg/kg, 2,00 mg/kg, 2,00 mg/kg e 3,00 mg/kg, todavia, ficaram abaixo do valor de investigação definido pela legislação.

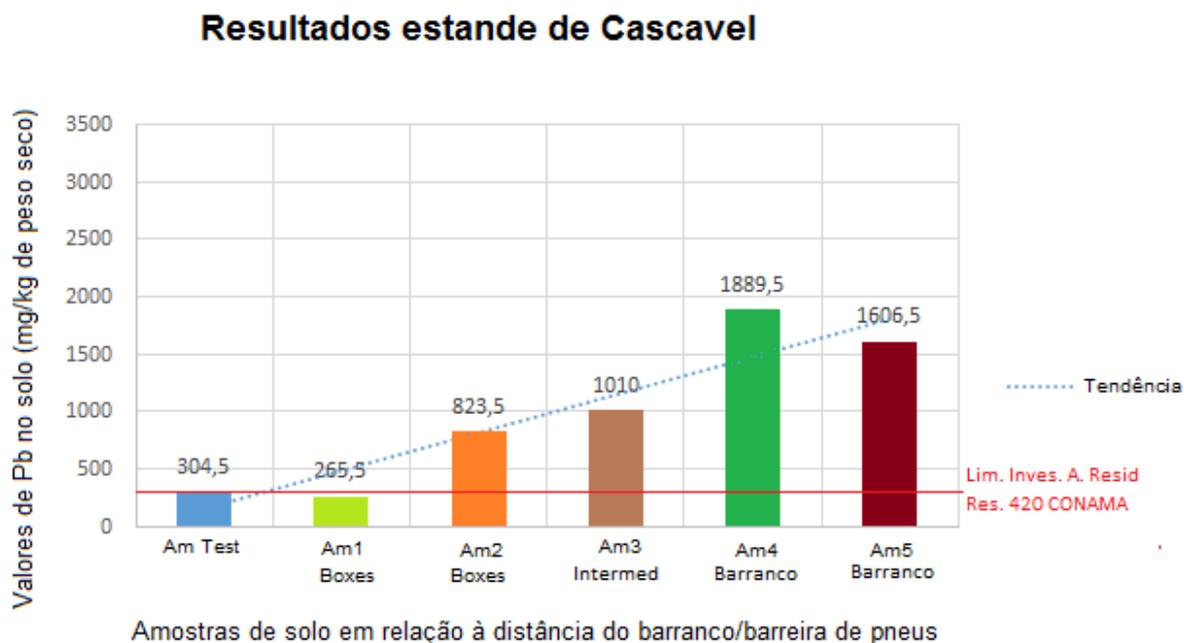
Novamente, o que preocupa são os índices de Pb no solo. Seguindo a tendência dos estandes anteriores, os teores de Pb ficaram muito acima do que é permitido para o valor de investigação.

Excetuando-se a amostra 1, todas as demais tiveram resultados acima do valor de investigação, que é de 300,00 mg/kg. Os resultados mostram que os índices para as amostras 2, 3, 4, 5 e 6 foram respectivamente 823,50 mg/kg, 1.010,00 mg/kg, 1.889,50 mg/kg, 1.606,50 mg/kg e 304,50 mg/kg.

O fato da amostrar-testemunha ter apresentado valor elevado de concentração de Pb pode ser explicado em razão do estande ter sido mudado de posição ao longo do tempo, o que demonstra a possibilidade de existir ação antrópica no local de coleta da referida amostra.

Seguindo a tendência dos estandes anteriormente pesquisados, os teores de Cr estão dentro do LP.

Gráfico 4 – Resultados análise especial estande Cascavel



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O Gráfico 4 representa os resultados dos níveis de Pb no solo e demonstra novamente a tendência de maior concentração nas amostras que foram colhidas no barranco do estande. Até mesmo a amostra-testemunha apresenta uma grande concentração de Pb, estando acima do Linv. Somente a amostra 1 está abaixo desse limite.

4.4.5 Estande de tiro desativado da PMPR na APMG em São José dos Pinhais-PR

A quinta área de onde se retiraram as amostras está localizada na APMG. Conforme a lei municipal de zoneamento de São José dos Pinhais (Lei Complementar nº 16, de 11 de novembro de 2005), a APMG se constitui em uma Zona Especial Institucional (ZEI), circundada pela Zona Residencial 1 (ZR1), Zona Residencial 3 (ZR3) e pelo Setor Especial de Áreas Verdes (SEAV).

Foram encontradas três classificações de solo nas amostras analisadas: solo Classe, Argilosa Tipo 3; Solo Classe, Média Tipo 2 e Solo Classe, Arenosa Tipo 1.

O primeiro estande pesquisado na APMG é um estande desativado, que fica junto aos blocos de alojamento no setor sul da Academia. Esse estande ficou ativo por cerca de 24 anos e se encontra desativado há 12 anos. Foi um estande utilizado intensamente por todos os cursos de formação da PMPR, desde o CFSd até o Curso Superior de Polícia (CSP), além de cursos de formação de Guardas Municipais da Região Metropolitana de Curitiba. Mais de 20 mil agentes de segurança já passaram por treinamentos de tiros neste local.

Nesse estande, há possibilidade de se ver o comportamento dos metais pesados como no estande de Guaíra. Assim, pode-se traçar um paralelo entre os dois, levando em conta a proporção de ambos, verificando como se comportam os metais pesados depositados nesses locais ao longo do tempo.

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos no citado estande. No estande desativado, os teores de Al mostram-se em grande concentração, assim como nos demais estandes. Novamente, destaca-se o fato de não existir regulamentação para os teores permitidos, impedindo-se assim uma análise mais apurada.

Tabela 7- Valores médios (duas campanhas realizadas) dos teores de Al, Cd, Pb e Cr das áreas do estande de tiro da PMPR (desativado) na APMG em São José dos Pinhais-PR.

Amostra		Al	Cd	Pb	Cr
	Unidade	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
	LQ	0,01	0,005	0,01	0,01
Amostra 1		23,20	5,00	1653,00	38,50
Amostra 2		6,39	4,00	1430,00	28,00
Amostra 3		25,26	3,00	837,50	33,00
Amostra 4		17,52	3,00	1060,50	20,50
Amostra 5		16,32	2,00	1050,50	16,00
Amostra 6		26,95	3,00	81,00	27,00

Campanha 1 APMG – 01 Set 2013 - Campanha 2 APMG – 30 Mai 2015

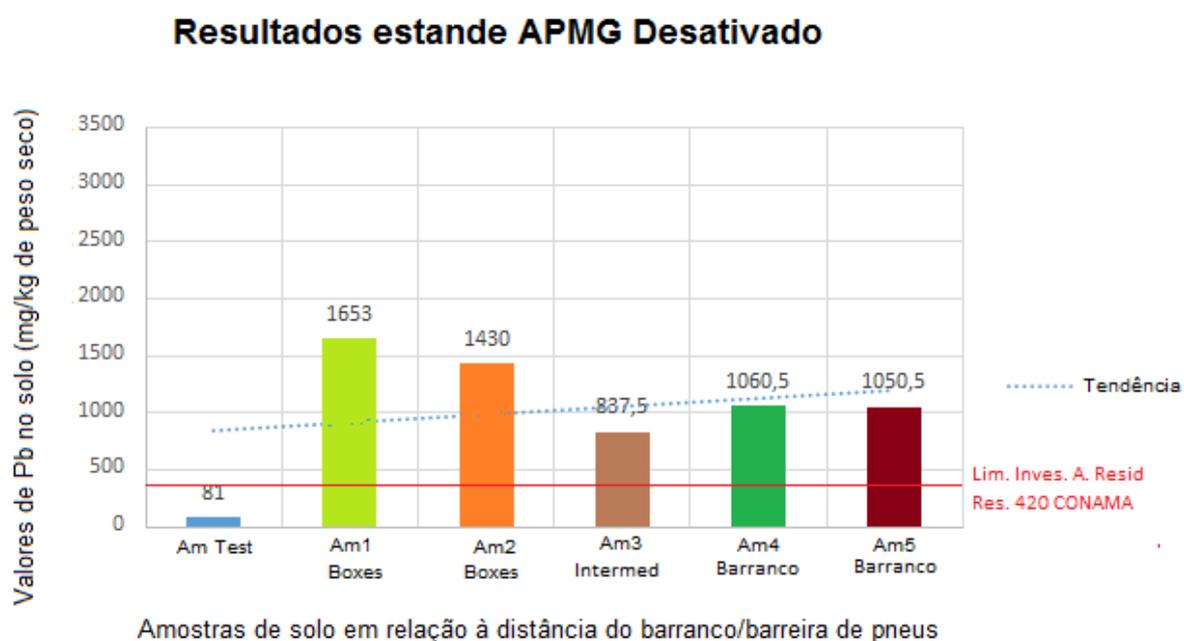
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os teores de Cd em todas as amostras ultrapassaram o LP da Resolução 420/2009 do CONAMA, como se vê, variando de 2,00mg/kg a 5,00 mg/kg. Contudo, todas elas apresentam índices abaixo do valor de investigação definido pela legislação.

Como já vem sendo detectado no estudo até o momento, os teores de Pb ficaram muito acima do que é permitido para o valor de investigação. Mesmo diante de uma desativação, os dados mostram uma grande concentração de Pb no solo. Excetuando-se a amostra-testemunha, todas as outras ultrapassaram o Linv para área residencial. As amostras 1, 2, 3, 4, e 5 apresentaram respectivamente os seguintes resultados: 1.653,00 mg/kg, 1.430,00 mg/kg, 837,50 mg/kg, 1.060,50 mg/kg e 1.050,50 mg/kg. Todos os resultados acima do Linv para área residencial, que é de 300,00mg/kg.

Ratificando a tendência, os teores de Cr estão dentro do LP.

Gráfico 5 – Resultados análise especial estande APMG Desativado



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O Gráfico 5 apresenta uma tendência mais tênue no que diz respeito à concentração de chumbo no estande desativado, na relação distância do barranco e concentração de Pb. Ao realizar uma comparação com o estande de Guaíra, também desativado, verifica-se que a tendência está guinando para a estabilização. Todavia, a estabilização sugerida será com níveis de concentração muito acima do Linv estabelecido pela Resolução 420/2009 do CONAMA.

4.2.6 Estande de tiro em atividade da PMPR na APMG em São José dos Pinhais-PR

Cabe destacar que devido ao tamanho da área, o estande de tiro ativo foi dividido em 3 partes. Na primeira, nominada de estande de tiro principal, foram coletadas 8 amostras, sendo uma testemunha. A segunda foi denominada estande de tiro secundário, onde foram coletadas 7 amostras, uma sendo testemunha. E, na terceira parte, denominada manancial, local onde não ocorre a prática de tiro, porém, fica ao largo do estande de tiro por onde correm as águas pluviais e brota uma nascente, foram coletadas as últimas duas amostras, 22 e 23, conforme Figura 25.

Figura 25 - Descrição, georreferenciamento dos pontos de coleta do Estande Principal da APMG - Manancial



Fonte: Base de dados Google Maps (2013), adaptado pelo autor.

O conjunto de estandes em atividade na APMG foi instalado em meados de 1995. E hoje se apresenta como o maior estande em atividade no Estado do Paraná no que tange à dimensão e ao treinamento de policiais. O seu uso é intenso durante o ano, pois concentra os cursos de formação, aperfeiçoamento e

manutenção do conhecimento da PMPR.

No que concerne ao estande chamado de principal, os resultados alcançados no presente trabalho são apresentados conforme a Tabela 8. Como nos estandes anteriores, nesse conjunto de estandes, os teores de Al mostram concentração apreciável desse metal. Novamente se esclarece que não há regulamentação dos valores de referências para a presença do Al, o que impediu uma análise, conforme proposta do trabalho.

Tabela 8 - Valores médios (duas campanhas realizadas) dos teores de Al, Cd, Pb e Cr das áreas do estande de tiro da PMPR (principal e em funcionamento) na APMG em São José dos Pinhais-PR.

Amostra		Al	Cd	Pb	Cr
	Unidade	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
	LQ	0,01	0,005	0,01	0,01
Amostra 7		6,97	1,00	181,00	6,63
Amostra 8		3,66	1,50	52,00	0,09
Amostra 9		6,65	1,50	408,00	9,09
Amostra 10		6,67	1,00	3088,00	8,58
Amostra 11		10,07	1,50	2749,00	11,58
Amostra 12		7,38	1,00	295,50	6,09

Campanha 1 APMG – 01 Set 2013 - Campanha 2 APMG – 30 Mai 2015

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Também nesse estande, os teores de Cd das amostras 8, 9 e 11 ultrapassaram o LP da Resolução 420/2009 do CONAMA, que é de 1,30mg/kg. Os resultados obtiveram 1,50 mg/kg, sendo que as demais, incluindo a amostra 12 (testemunha), obtiveram o resultado de 1,00 mg/kg. Porém, assim como nos casos anteriores, todas as amostras apresentam índices abaixo do valor de investigação definido pela legislação.

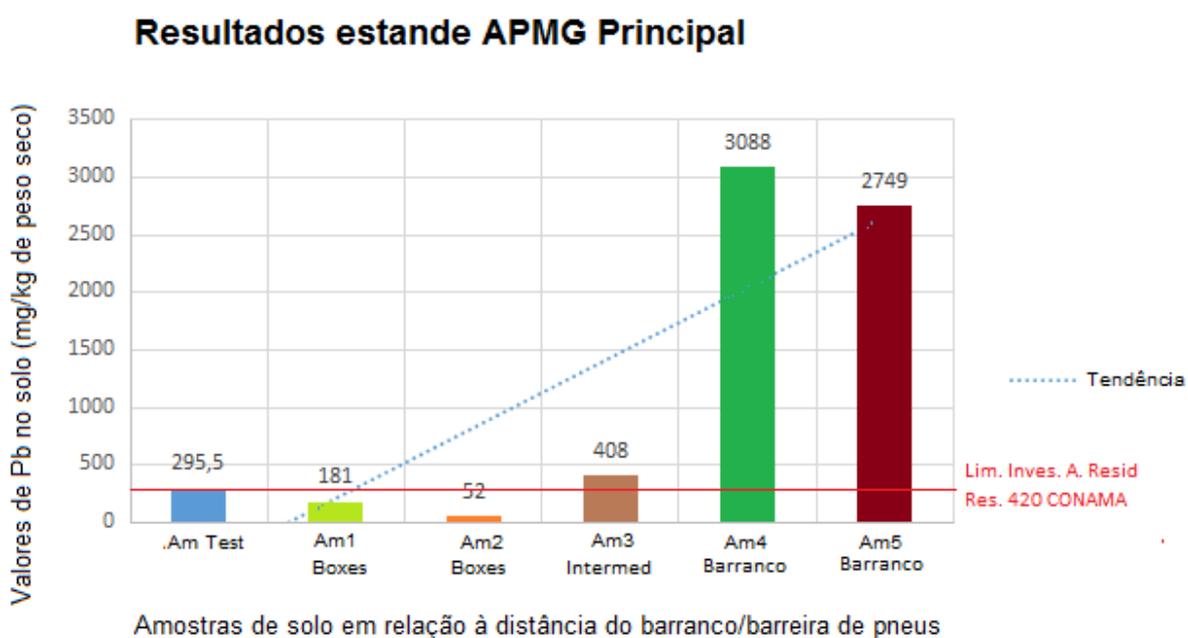
Quanto aos resultados obtidos em relação ao Pb, mais uma vez se repetiram os altos índices da presença do referido metal nas amostras. Excetuando-se a amostra 8, todas as outras apresentaram valores acima do VP, que é de 72,00mg/kg para área residencial. As amostras 7, 9, 10, 11 e 12 respectivamente apresentaram os resultados de 181,00mg/kg, 408,00 mg/kg, 3.088,00 mg/kg, 2.749,00 mg/kg e 295,00 mg/kg. As amostras 9, 10 e 11 apresentaram índices acima do valor de investigação, que é de 300,00 mg/kg para área residencial.

Ao observar a amostra 10, verifica-se claramente que esse índice é o mais alto entre as amostras pesquisadas nesse estande, correspondendo a mais de 10 vezes o limite do valor de investigação.

Mais uma vez se confirma a tendência: os teores de Cr estão dentro do LP.

O Gráfico 6 esclarece como os níveis de Pb estão distribuídos ao longo do terreno. Novamente, verifica-se a tendência de maior concentração nos pontos mais próximos ao barranco.

Gráfico 6 – Resultados análise especial estande APMG Principal



Fonte: Elaborado pelo Autor.

No caso específico desse estande, verifica-se uma grande diferença entre os níveis das amostras localizadas próximas aos boxes dos atiradores em relação às localizadas no barranco. Os dados em questão se assemelham aos dos estandes de Cruzeiro do Oeste, em que pese as dimensões do estande da APMG serem muito maiores do que aquele. Por outro lado, o número de disparos realizados na APMG supera em mais de 60 vezes o de Cruzeiro do Oeste.

Em relação à execução do trabalho de campo, que culminou nos resultados obtidos, durante a condução da pesquisa, foram observados materiais metálicos (projéteis de arma de fogo). Também as chamadas buchas dos cartuchos de espingardas calibre 12, além de estojos de cartuchos deflagrados nas superfícies dos solos dos estandes de tiro, como se vê na Figura 26, afetando a homogeneidade dessas.

Esses materiais são originários do resíduo dos disparos das armas de fogo. Provavelmente, devem ter afetado as concentrações de alguns dos elementos quantificados nas amostras de solo, tendo em vista a lixiviação dos projéteis.

Figura 26 – Projéteis depositados no solo do estande de tiro da APMG.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Para se ter a dimensão da quantidade desses materiais, foi delimitada uma área de 1,00 m² distante um metro ao sul da amostra 11, do estande ativo da APMG. Foram recolhidos da superfície todos os resíduos de chumbo provenientes dos projéteis de arma de fogo, totalizando 1,70 kg projéteis descartados na superfície do solo.

4.2.7 Estande de tiro secundário da APMG/PMPR em São José dos Pinhais-PR

Seguindo com o trabalho, foram analisados os resultados, conforme se vê na Tabela 9, do estande secundário, que é subdividido em três “pequenos” estandes laterais ao estande principal da APMG.

Cabe salientar que a segunda campanha das amostras 15, 16, 17, 18, 19 e 20 foi realizada em data diversa da segunda campanha do estande principal, tendo em vista que na data de 30 de maio de 2015 estes estandes estavam sendo utilizados, o que inviabilizou a coleta na data acima referida.

Cabe salientar que, nesta segunda campanha, os valores de Cd não foram levantados, por isso, se optou por descrever os valores obtidos na primeira campanha.

Tabela 9 - Valores médios (duas campanhas realizadas) dos teores de Al, Cd, Pb e Cr das áreas do estande de tiro da PMPR (secundário e em funcionamento) na APMG em São José dos Pinhais-PR.

Amostra		Al	Cd	Pb	Cr
	Unidade	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
	LQ	0,01	0,005	0,01	0,01
Amostra 13		7,29	1,50	2541,00	8,60
Amostra 14		7,57	1,50	964,50	2,60
Amostra 15		16,17	<0,005	517,00	0,50
Amostra 16		13,80	<0,005	5987,00	11,00
Amostra 17		9,29	<0,005	1954,00	10,50
Amostra 18		14,53	<0,005	2786,50	6,50
Amostra 19		19,28	<0,005	680,50	0,50
Amostra 20		21,61	<0,005	1652,50	11,00
Amostra 21		7,80	1,50	629,50	11,55
Amostra 22		6,61	1,50	1454,00	7,54
Amostra 23		4,38	<0,005	535,00	6,50

Campanha 1 APMG – 01 Set 2013 - Campanha 2 APMG – 30 Mai 2015

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os teores de Cd das amostras 13 e 14 ultrapassaram o LP da Resolução 420/2009 do CONAMA, que é de 1,30mg/kg, sendo que os resultados obtiveram 1,50 mg/kg. Mais uma vez, todas as amostras apresentam índices abaixo do valor de investigação definido pela legislação.

Quanto aos resultados obtidos em relação ao Pb, novamente os números são alarmantes. Todas as amostras apresentaram valores acima do LP, que é de 72,00 mg/kg para área residencial, bem como todas também apresentaram índices acima do valor de investigação, que é de 300,00 mg/kg para área residencial.

Ressalta-se que o local se constitui em uma área em que há nascente cujo leito corre para o Rio Pequeno, o qual abastece a Estação de Tratamento de Água da APMG.

Por fim, constata-se ainda uma vez a preocupante situação de contaminação do solo em mais um estande de tiro da PMPR.

5 CONSTATAÇÕES, INFERÊNCIAS E SUGESTÕES

Em relação a toda exposição desenvolvida, o estudo evidenciou que não há normatização para a utilização dos estandes no que concerne ao manejo dos resíduos sólidos produzidos durante a realização dos disparos de arma de fogo.

A Resolução 420/2009 do CONAMA não está sendo observada pelos órgãos ambientais competentes quando da implantação e utilização dos estandes de tiro, pois o artigo 14 é claro quando trata da prevenção e controle da qualidade do solo.

A citada Resolução determina que os empreendimentos que desenvolvem atividades com potencial de contaminação dos solos e águas subterrâneas deverão, a critério do órgão ambiental competente, implantar programa de monitoramento de qualidade do solo (CONAMA, 2009).

Ao contrário do que determina a legislação, não se encontrou a apresentação de relatório técnico conclusivo por parte dos responsáveis pelos empreendimentos (estandes de tiro) sobre a qualidade do solo e das águas subterrâneas.

Fazendo um paralelo com EB, destaca Brum (2010), que desde 1920, os regulamentos dos Campos de Instrução já registravam a preocupação com a preservação das matas, regulando o uso de recursos naturais conforme Decreto nº

14.273, de 28 de julho de 1920.

Brum (2010) ainda salienta o envolvimento do Exército com as questões relacionadas ao meio ambiente tendo em vista o incremento de notícias veiculadas nos Noticiários do Exército, nos Planos de Instrução Militar e nos manuais de instrução, além da publicação e edição da atual Política e Diretriz Estratégica de Gestão Ambiental do EB.

Constata-se, segundo Brum (2010), a fragilidade das ações relacionadas à gestão ambiental, como é o caso da demanda judicial em que os comandantes de organizações militares foram relacionados, mais especificamente aos Campos de Instrução de Formosa e de Gericinó, os quais respondem, respectivamente, a processo judicial por dano à fauna e por representar risco à população do entorno.

Em uma comparação de âmbito internacional, conforme Tosini (2006), em 1980, foi editado, nos Estados Unidos, o *Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act* (CERCLA), que ficou conhecido como “Super fundo”, lei criada para responsabilizar legalmente os proprietários de terrenos pela limpeza e descontaminação de resíduos tóxicos. Com a citada lei, algumas decisões judiciais foram intentadas e bancos foram responsabilizados a reparar danos ambientais causados pelos destinatários de seus créditos.

Em relação ao citado diploma legal estadunidense, Brum (2010) esclarece que a responsabilidade de recuperação de áreas de uso militar ficou a cargo do Departamento de Defesa (DOD), por meio do Corpo de Engenheiros (*US Army Corps of Engineers – USACE*).

A USACE atualmente é responsável por programas de recursos naturais e culturais, gestão dos projetos de água, regula as atividades nas zonas úmidas da nação, presta assistência aos serviços militares na gestão ambiental e recuperação de suas instalações militares (BRUM, 2010).

A evolução das ações de recuperação de áreas degradadas foi substancial nos Estados Unidos. Em 1983, foi instituído por lei o Programa de Recuperação de

Defesa Ambiental, que ampliou o trabalho ambiental da USACE em matéria de instalações militares (BRUM, 2010). O programa previa a eliminação de resíduos perigosos de antigas instalações militares e a remoção das construções inseguras, bem como de munições e outros detritos ativos de antigas instalações militares (BRUM, 2010).

Os trabalhos da USACE ultrapassaram as fronteiras dos Estados Unidos e chegaram também ao Brasil, com a realização, em 2013, de estudo da USACE em parceria com a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (Codevasf) (MOTTA & GONÇALVES, 2015).

O estudo indicou que são carreados cerca de 22 milhões de toneladas de sedimentos, anualmente, para o leito do rio São Francisco, o que representa uma grave ameaça à captação de água para abastecimento de cidades e projetos de irrigação, dentre outros impactos (MOTTA & GONÇALVES, 2015). Tal parceria realizada no Brasil colabora para o fortalecimento do reconhecimento dos trabalhos da USACE.

Resumidamente, de acordo com Brum (2010), o governo estadunidense credenciou o Ministério da Defesa para cuidar da gestão ambiental de áreas militares destinadas à prática de tiro que resultam em contaminação:

O Ministério da Defesa Americana estabeleceu o MMRP para melhor refletir as metas estabelecidas em seu programa oficial de recuperação ambiental, ter uma melhor compreensão das áreas contaminadas por munições e assim ter um gerenciamento eficaz das atividades relacionadas a munições. O Exército americano mantém um inventário de seus sítios de munições e atribui uma prioridade em relação a cada um.

O principal objetivo do inventário é recolher a quantidade adequada de informação para tomar uma das seguintes decisões:

- a) Execução de uma investigação para ação corretiva e se a ação é viável em um local;
- b) Avaliar se é necessária uma resposta imediata ou
- c) Se a área não se qualifica para nenhuma ação.

Os objetivos secundários do sistema de inventário são a coleta de dados para a realização de um protocolo de priorização e uma melhor avaliação do custo completo com as estimativas de investigação e remediação ambiental.

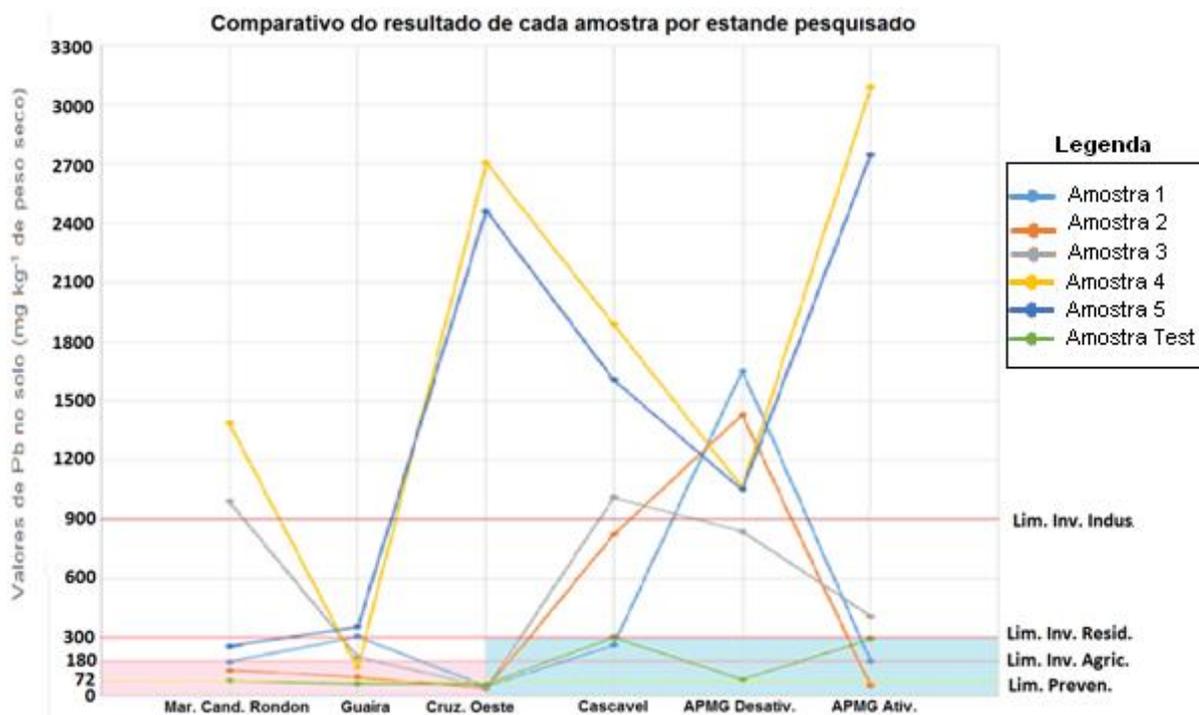
Os recursos utilizados neste programa não podem ser utilizados para remediação de áreas contaminadas fora dos EUA. A recuperação deverá ser exclusivamente de munições utilizadas em combate ou áreas de treinamento e áreas que não são de responsabilidade do Departamento de Defesa (DoD).

Pela política do DoD, o Exército americano pretende concentrar esforços na resolução dos problemas relacionados a engenhos falhados, pois apresentam maior risco em relação a resíduos de descarte de munições. Ele classifica os sítios com base em uma variedade de critérios e permite que o Exército possa agir nos locais que têm o maior risco relativo primeiro. (USACE 2009) (BRUM, p. 51-52, 2010)

Trazer ao conhecimento do leitor tal sistema estadunidense, se faz mister para demonstrar que não há no Brasil iniciativa similar ou mesmo qualquer sistema de fiscalização e controle de área nas mesmas condições.

Voltando aos resultados apresentados no capítulo anterior, verificando o Gráfico 7, encontra-se um comparativo entre os valores de concentração de Pb das amostras coletadas nos estandes pesquisados.

Gráfico 7 – Comparativo dos resultados dos estandes pesquisados em relação aos Valores de Investigação definidos pela Resolução 420/2009 do CONAMA.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Pelo Gráfico7, pode-se inferir que quanto mais próximo do barranco for o solo, maior é a concentração de Pb. Em regra, as amostras ficaram acima dos Valores de Investigação definidos pela Resolução 420/2009 do CONAMA, portanto, a tendência de contaminação é clara e preocupante. O estande, cujo

comportamento das amostras foi menos preocupante, é o de Guaíra que se encontra desativado há alguns anos.

Observando o comportamento das amostras 1 de cada estande, se verifica que, com exceção do estande de Guaíra e do estande desativado da APMG, os demais apresentaram valores abaixo do Linv. Já as amostras 2 dos estandes pesquisados, em sua maioria, apresentaram valores abaixo do Linv, com exceção de Cascavel e da APMG desativado. Esses dados levam a inferir que os locais (próximos aos boxes) de onde partem os tiros dos atiradores não acumulam concentrações de Pb, o que parece óbvio, pois, o projétil que se constitui em resíduo sólido em maior quantidade fica acumulado nos barrancos ou barreiras de pneus preenchidas por terra.

As amostras 3 dos estandes em questão apresentaram valores acima do Linv, excetuando-se a amostra de Cruzeiro do Oeste. Diferentemente do que ocorreu com as amostras extraídas próximo aos boxes dos estandes, as amostras 3 podem ter sofrido a influência do solo que se encontra mais perto dos barrancos ou barreiras de pneus. A explicação pode ser o fato de que as águas pluviais correm no sentido do barranco para o centro dos estandes. Todavia, essa hipótese não foi verificada por não se tratar de um dos objetivos do trabalho. Os valores apresentados denotam que deve existir preocupação no que concerne à utilização destas áreas por parte dos atiradores que frequentam os referidos estandes.

As amostras 4 e 5, que representam aquelas retiradas dos barrancos ou barreira de pneus dos estandes, apresentam comportamentos semelhantes nos diferentes estandes pesquisados. Em relação à amostra 4, com exceção do estande de Guaíra, todas as amostras apresentam valores elevados e acima do Linv para as áreas em que se encontram, seja agrícola ou residencial. No caso da APMG, a amostra 4 ultrapassou em 10 vezes o Linv.

Preocupante ainda são os resultados dos valores das amostras 5, que também foram retiradas dos barrancos ou barreiras de pneus. Em todos os estandes, os resultados se mostraram acima do Linv, seja para a área agrícola ou residencial, especificamente em relação à localização do estande. Igualmente

inquietante é o resultado da amostra da APMG, que ultrapassa em 9 vezes o Linv.

Observa-se que as amostras 6 (testemunhas), em quase sua totalidade, ficaram abaixo do Linv, seja nos estandes localizados nas áreas rurais ou nas áreas residenciais, excetuando-se o caso de Cascavel e da APMG. O comportamento da amostra-testemunha determina a confirmação de que atividade de treinamento de tiro, nos moldes como hoje é feita pelos atiradores particulares e pela PMPR, se mostra como fonte de contaminação do solo por metais pesados e, em especial, pelo Pb.

Ressalta-se que, mesmo que os estandes estivessem localizados em área industrial, cujo Linv é três vezes maior que o limite de áreas residenciais, conforme prevê a Resolução 420/2009 do CONAMA, ainda assim, excetuando-se o estande de Guaíra, todos os outros apresentariam, ao menos, 2 amostras acima do Linv industrial.

Com os resultados obtidos, infere-se que, quanto mais próximo do barranco ou da barreira de pneus, maior o nível de concentração de Pb no solo dos estandes. De maneira geral, os valores de concentração do referido metal no solo dos estandes é preocupante e exige uma ação contundente dos administradores dos locais em parceria com os órgãos ambientais.

Como já foi esclarecido no terceiro capítulo, a regulamentação da gestão das áreas contaminadas por metais se encontra espalhada por vários institutos legais, desde a CF, passando pela Lei 6.938/81, pela Resolução 420/2009 do CONAMA, culminando com a Lei 12.305/2010.

Em que pese todo o aparato legal, não há na legislação pátria, como na estadunidense, um órgão responsável diretamente pela edição de normas e fiscalização dos estandes de tiros das polícias do Brasil. Não se encontrou, durante a realização da pesquisa sobre legislação da PMPR, institutos legais que regulamentem a gestão ambiental dos estandes de tiro ou mesmo das unidades policiais militares.

A inexistência de um órgão ou departamento interno dentro da PMPR que seja responsável pela gestão ambiental da instituição implica a resolução tardia, ou no pior cenário, na não resolução, de eventuais danos ambientais. Danos que podem ser causados nas áreas administradas pela corporação ou no seu entorno, colocando em risco os agentes policiais e aquelas pessoas que residam ou convivam nas áreas circunvizinhas contaminadas (ressaltando que o problema também se dá nos estandes particulares).

A falta de um órgão de gestão interna na PMPR não exclui a responsabilidade dos órgãos de fiscalização ambiental *externa corporis* que, por dever de ofício, devem fazer valer os ditames da Resolução 420/2009 do CONAMA.

Os índices apresentados exigem dos administradores dos estandes da PMPR uma pronta e urgente intervenção, com a execução de ações de controle para a eliminação do perigo, garantindo a redução a níveis toleráveis dos riscos já identificados.

O presente trabalho apontou que as áreas devem estar sob investigação, pois está comprovadamente constatada a contaminação com concentrações de substâncias químicas no solo acima dos Valores de Investigação, conforme a Resolução 420/2009 do CONAMA.

Como consequência, os locais pesquisados devem passar a ser uma Área Contaminada sob Intervenção, pois, já está constatada a presença de substâncias químicas (metais tóxicos), o que denota a comprovada existência de risco à saúde humana, necessitando, se for o caso, outra investigação detalhada e avaliação de risco.

As implicações são severas diante das constatações acima referidas, pois, conforme o artigo 29 da Resolução 420/2009 do CONAMA, após a declaração de Área Contaminada sob Investigação ou Área Contaminada sob Intervenção (ACI), o órgão ambiental competente, em conjunto com os demais órgãos envolvidos, deverá adotar medidas cabíveis para resguardar os receptores do risco já

identificados nessas etapas. Tudo isso leva enfim a que os espaços dos estandes sejam declarados Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação (AMR).

Todavia, para se chegar à AMR, um longo processo é necessário de acordo com as normas definidas na Resolução 490/2009. Diante de Área Contaminada sob Investigação ou ACI, segundo o artigo 30 da Resolução 420/2009, os órgãos ambientais competentes devem planejar suas ações, observando, para a priorização, a população potencialmente exposta, a proteção dos recursos hídricos e a presença de áreas de interesse ambiental (CONAMA, 2009).

O artigo 32 da supracitada Resolução determina o cumprimento dos procedimentos e ações no gerenciamento de áreas contaminadas. Para tanto, o órgão ambiental competente deverá definir, em conjunto com outros órgãos, ações emergenciais em casos de identificação de condições de perigo. Deverá ainda definir os procedimentos de identificação e diagnóstico. O órgão avaliará o diagnóstico ambiental e promoverá a comunicação de risco após a declaração da área como contaminada sob intervenção (CONAMA, 2009).

Ao mesmo tempo, incumbe ao órgão ambiental competente avaliar, em conjunto com outros órgãos, as propostas de intervenção da área, tendo a obrigação de acompanhar, também em conjunto com outros órgãos, as ações emergenciais, de intervenção e de monitoramento. Deve o órgão avaliar a eficácia das ações de intervenção (CONAMA, 2009).

Seguindo a determinação legal, deve-se dar ampla publicidade e comunicar a situação da área ao proprietário, ao possuidor, ao Cartório de Registro de Imóveis da Comarca onde se insere o imóvel, bem como ao cadastro imobiliário das prefeituras onde os imóveis (no caso em questão, os respectivos estandes) estão localizados (CONAMA, 2009).

Ademais, a elaboração de um estudo acerca do impacto do Pb, e demais metais pesados, na saúde humana e no ambiente será determinante para a prevenção de intoxicações na população, principalmente, onde os riscos são pouco avaliados e controlados, como parece ser o caso dos estandes de tiro ora

pesquisados (CAPELLINI *et al.*, 2008).

Ainda a título de contribuição, uma iniciativa que melhoraria a gestão ambiental dos estandes de tiro seria a proposição de reutilização do Pb depositado no solo, diminuindo, assim, a contaminação por esse metal. Isso poderá ser feito, conforme o Manual de Aperfeiçoamento Profissional para vendedores da Companhia Brasileira de Cartuchos, com a realização da recarga de munições, procedimento que consiste na reutilização de um estojo detonado, se constituindo assim num programa de gestão.

Algumas corporações já anunciam iniciativas de gestão, como o exemplo da Polícia Civil do Rio de Janeiro (PCRJ), que divulgou a compra de um novo estande de tiro no qual os projéteis disparados pelas armas de fogo não atingem o solo (RIO DE JANEIRO, 2013).

Conforme a PCRJ, os projéteis são coletados por “armadilhas de tiro”, um sistema parecido com um funil - “um para-balas feito de chapas de aço especiais A500, dispostas em dois níveis” - onde os projéteis são recolhidos (RIO DE JANEIRO, 2013). “O projétil fura o alvo, bate numa das chapas, de material muito resistente, e cai no desacelerador. A velocidade é reduzida a zero no cilindro e a bala [sic] fica depositada para reciclagem” (RIO DE JANEIRO, 2013).

Segundo o fabricante do estande de tiro acima mencionado (empresa *Action Target, de Utah*, nos EUA), o sistema “pode ser usado em ambientes fechados ou ao ar livre, com os mesmos excelentes resultados” (ACTION TARGET, 2013). O sistema usa aço endurecido na composição do funil coletor, que suporta o impacto da maioria das munições. O funil guia projéteis para uma câmara de desaceleração, onde são recolhidos por três tipos de coletores: sistema transportador de ar, sistema de helicoidal, ou sistema de vasilha (ACTION TARGET, 2013). Esses sistemas também incluem uma unidade coletora de poeira para proteger o ambiente da contaminação por pó de Pb (ACTION TARGET, 2013).

O levantamento feito no presente trabalho se constitui em ponto inicial para uma mudança de postura institucional, o que não exaure o debate, pois outros

aspectos acerca da contaminação dos solos dos estandes de tiro devem ser avaliados com mais cuidado, carecendo uma nova análise para encontrar futuras soluções.

Observando-se o levantamento apresentado, e na mesma linha de outras pesquisas de sucesso, com o presente trabalho, espera-se contribuir para a compreensão, o controle e a prevenção da exposição ao Pb e outros metais pesados, bem como dos efeitos de uma possível contaminação advinda dos estandes de tiro da PMPR, diminuindo, desse modo, os riscos de danos aos que utilizam e/ou são afetados pelas áreas em estudo (CAPELLINI *et al.*, 2008).

Diante desse levantamento, evidencia-se a urgente mudança de postura da PMPR, que necessita voltar a sua atenção às questões ambientais. Com isso, melhorando sua capacidade de gestão, a fim de evitar demandas judiciais e objetivando a preocupação constitucional com o meio ambiente ao evitar ou eliminar os danos causados pela utilização dos estandes de tiro.

6 CONCLUSÃO

Observado os objetivos propostos pode-se concluir que a hipótese de contaminação dos solos dos estandes de tiro pesquisados foi confirmada.

Os resultados das análises dos solos dos estandes de tiro, levantados pelo presente trabalho, permitiram avaliar os teores e distribuição dos metais tóxicos, além de estabelecer as condições ambientais das áreas pesquisadas. Podendo-se rematar que os teores de metais tóxicos encontrados nos solos dos estandes demandam atenção, tendo em vista que no caso do Pb os resultados das amostras confirmaram a hipótese de contaminação. Em todos os estandes 60% das amostras ultrapassaram (para o Pb), além do LP, também o Linv estabelecidos pela Resolução 420/2009 do CONAMA. Em dado momento, superando em mais de 10 vezes o Linv.

De acordo com a legislação nacional vigente, que estabelece os limites de prevenção e investigação, os solos em questão já não são mais capazes de sustentar as suas principais funções, como: servir como meio básico para a sustentação da vida e de habitat para pessoas, animais, plantas e outros organismos vivos; manter o ciclo da água e dos nutrientes; servir como meio para a produção de alimentos e outros bens primários de consumo; agir como filtro natural, tampão e meio de adsorção, degradação e transformação de substâncias químicas e organismos; proteger as águas superficiais e subterrâneas; servir como

fonte de informação quanto ao patrimônio natural, histórico e cultural; constituir fonte de recursos minerais; e servir como meio básico para a ocupação territorial, práticas recreacionais e propiciar outros usos públicos e econômicos.

Como demonstrado foi, em todos os estandes, algumas amostras ultrapassaram o Linv para o Pb (180,00 mg/kg para área rural e 300,00 mg/kg para área residencial). É de se considerar então que, nessas áreas, existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, tendo em conta um cenário de exposição padronizado através de um conjunto de variáveis relativas à liberação das substâncias químicas discutidas, a partir de uma fonte primária ou secundária de contaminação, que são os projéteis de arma de fogo depositados no solo.

Levando-se em conta a caracterização dos parâmetros químicos e granulométricos, de acordo com o artigo 13 da Resolução nº420/2009 da CONAMA, com base nas concentrações de substâncias químicas, os solos pesquisados apresentam uma classe 4 de qualidade. Isso significa que os referidos solos expõem concentrações de, pelo menos, uma substância química maior que o valor de investigação (valor de Pb em todos os estandes).

Sendo então necessário tomar medidas para gerenciar essas áreas contaminadas, tais como: a geração e a disponibilização de informações; a articulação, a cooperação e integração interinstitucional de órgãos da União, dos estados, do Distrito Federal e dos municípios, os proprietários, os usuários e demais beneficiados ou afetados; a gradualidade na fixação de metas ambientais, como subsídio à definição de ações a serem cumpridas; a racionalidade e otimização de ações e custos; a responsabilização do causador pelo dano e suas consequências; e a comunicação de risco.

Há necessidade de uma avaliação de projetos direcionados com o objetivo de mitigar os problemas encontrados. Como consequência, há de se buscar uma parceria da PMPR com os órgãos ambientais competentes, visando à execução de avaliação de risco, a fim de que os estandes possam ser colocados em processo de monitoramento para reabilitação.

Sugere-se, pelo trabalho, a pronta intervenção da PMPR e dos donos dos estandes particulares, iniciando, de imediato, ações de remediação nas áreas já contaminadas com a elaboração de planos de manejo. Há necessidade de uma discussão técnica para a mudança dos procedimentos e gestão das áreas dos estandes de tiros da PMPR, bem como a criação de uma seção especialmente voltada às questões ambientais, constituída por profissionais especializados na área.

Tal sugestão se verifica viável uma vez que a própria PMPR possui em sua estrutura um Batalhão de Polícia Ambiental, unidade especializada, responsável por fiscalizar as demandas ambientais no Estado do Paraná em conjunto com os demais órgãos.

REFERÊNCIAS

ABREU, Cleide Aparecida de; ABREU, Mônica Ferreira De; ANDRADE, João Carlos de. **Distribuição de chumbo no perfil de solo avaliada pelas soluções de DTPAE Mehlich-3**. Bragantia, vol. 57 n. 1 Campinas, 1998.

ACTION TARGET. 2013. Disponível em: <http://www.actiontarget.com/bullet-traps/total-containment-trap>. Acessado em 12 jul. 2013

ALMEIDA, Tania Leme de. **Implicações ambientais dos processos de atenuação de lixiviado em locais de disposição de resíduos sólidos urbanos**. Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009.

ÁLVAREZ, Jorge Toro; ARCO, Jorge Núñez de. **La investigación criminal y la técnica criminalística**. Online, 2012. Disponível em: <http://www.nunezdearco.com/PDF/Balística%20examen%20alumnos.pdf>. Acessado em 10 nov 2014.

AMORIM, Wanda Batista de. **Estudo do processo de dessorção de cromo hexavalente presente em algas marinhas provenientes do processo de bioissorção**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Faculdade de Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP. 2000.

ANDRADE, Adeir Boida. **O cartucho de munição**. In: Prova Material - v. 2 - n. 5 - setembro 2005 – Salvador: Departamento de Polícia Técnica, 2005

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods**

of analysis. 19 ed. Gaithersburg, Maryland: AOAC, 2012.

ARAÚJO, Giovanni de Moraes de. **Regulamentação do transporte terrestre de produtos perigosos comentada.** 2ª Edição, Rio de Janeiro, p. 964, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6457/86: amostra de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

BASILIO, Márcio Pereira. **O desafio da formação do policial militar do estado do Rio de Janeiro: entre o modelo reativo e o contingencial.** In: XIII Congreso Internacional del CLAD sobre la Reforma del Estado y de la Administración Pública, 2008, Buenos Aires, 4-7 NOV. XIII CLAD, 2008

BERTOLI, Vagner. **A evolução do município e do meio ambiente.** Revista Acadêmica de Ciências Jurídicas Vol.1 nº1 2004.

BI, Xiangyang; LIANG, Siyuan; LI, Xiangdong. **A novel in situ method for sampling urban soil dust: Particle size distribution, trace metal concentrations, and stable lead isotopes.** Environmental pollution [0269-7491] Bi, XY vol:177 pág:48 -57, ano:2013

BIONDI, Caroline Miranda. **Teores naturais de metais pesados nos solos de referência do estado de Pernambuco.** Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, (Tese de Doutorado) 67p 2010.

BORGES, Isolina Chiara Damasceno; CASTRO, Fabio Branco Godinho de; WAGNER, Ricardo. **Detecção de resíduos metálicos de armas de fogo após disparo.** Cadernos da Escola de Saúde. Curitiba, 9: 46-58 ISSN 1984-7041 volume 1 –2013.

BRAGA, Benedito; HESPANHOL, Ivanildo; CONEJO, João. G. Lutufo; BARROS, Mario Tadeu; SPENCER, Milton; PORTO, Monica; NUCCI, Nelson; JULIANO, Neusa; EIGER, Sergio. **Introdução a Engenharia Ambiental.** São Paulo: Prentice Hell, 2002.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil:** promulgada em 05 de outubro de 1988. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm. Acessado em 13 fev 2014

_____ **Lei nº 6.938,** de 23 de agosto de 1981. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1981, 02/09/1981. Disponível em

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acessado em fev 2014.

_____ **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1981, 03/08/2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acessado em fev 2014.

_____ **Decreto-Lei nº 667**, de 2 de julho de 1969. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1981, 03/07/1969. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acessado em fev 2014.

BRUM, Tércio. **Remediação Ambiental de Áreas Contaminadas por Explosivos**, Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, Dissertação de mestrado, 123p. 2010.

BVENURA, Callistus; AFOLAYAN, Anthony Jide. **Heavy metal contamination of vegetables cultivated in home gardens in the Eastern Cape**. *S. Afr. j. sci.* [online], vol. 108, n. 9-10, pp. 1-6. ISSN 0038-2353, ano 2012.

CAMPOS, Mari Lucia; GUILHERME, Luiz Roberto Guimarães; MARQUES, João José Granate de Sá e Melo; CURI, Nilton; ARAÚJO, Alessandra Siqueira Antunes; MIQUELLUTI, David José; LOPES, Claudia; SPIAZZI, Fábio Rodrigues. **Teores de arsênio e cádmio em solos do bioma Cerrado**. Revista brasileira de ciência do solo [0100-0683] Campos, M L, vol:37 fasc:1 pág:281 -286, ano:2013.

CAPELLINI, Vera Lúcia Messias Fialho; RODRIGUES, Olga Maria Piazzentin Rolim; MELCHIORI, Lígia Ebner; VALLE, Tânia Gracy Martins do. **Crianças contaminadas por chumbo: Estudo comparativo sobre desempenho escolar**. Estudos em Avaliação Educacional, 19, 155-180, ano 2008.

CHAVES, Edson Valente. **Absorção de metais pesados de solos contaminados do aterro sanitário e pólo industrial de Manaus pelas espécies de plantas *Senna multijuga*, *Schizolobium amazonicum* e *Caesalpinia echinata***. - Tese (Doutorado em Biotecnologia) — Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008.

CHEMELLO, Emiliano. **Ciência Forense: balística**. Química Virtual, fevereiro, pag 1-9, ano 2007.

CHOI, Yoon-Hyeong; HU, Howard; MUKHERJEE, Bhramar; MILLER, Josef; PARK, Sung Kyun. **Environmental Cadmium and Lead Exposures and Hearing Loss in U.S. Adults**: The National Health and Nutrition Examination Survey, 1999 to 2004. Environmental health perspectives [0091-6765] Choi, Yoon-Hyeong, vol:120 fasc:11 pág:1544 -1550, ano:2012.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Variáveis de Qualidade das Águas**. 2014. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%20aguassuperficiais/34-variaveis-de-qualidade-das-aguas#cromo>>. Acesso em: nov 2014.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas para o estado de São Paulo**. 2014b. Disponível em: <<http://solo.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/34/2014/12/valores-orientadores-nov-2014.pdf>>. Acesso em: nov 2015.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 420**, de 28 de dezembro de 2009. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano1.cfm?codlegitipo=3&ano=2009> Acessado em 12 Jan 2013.

COSTA, Ervandil Correa; BOSCARDIN, Jardel; MAGISTRALI, Iris C. **A história evolutiva da tutela jurídico-ambiental brasileira no período denominado “laissez-faire ambiental”** In: Congresso de Medio Ambiente, 7., 2012, La Plata, Argentina. Atlas. La Plata: UNLP, p. 1-14, ano 2012.

COSTA, Ivone Freire. **Polícia e Sociedade. Gestão de Segurança Pública, Violência e Controle Social**. Ed., Salvador: EDUFBA, 2005.

CUNHA, Fernanda Gonçalves da. **Contaminação humana e ambiental por chumbo no Vale do Ribeira, nos estados de São Paulo e Paraná, Brasil**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003

CUNHA Tayana Mara Freitas da; CARTAXO, Elizabeth Ferreira; LIMA, Wanderley Alves de. **Reuso de águas provenientes de estação de tratamento (ETA) e refrigeração de analisadores e bombas em indústria de refino de petróleo**. Xix Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos- Maceió- 2011.

DEL GUERCIO, Anita Martins Fontes; CAMARGO, Carlos Eduardo de Oliveira. **Herança da tolerância à toxicidade de alumínio em trigo duro**. *Bragantia* [online]. vol.70, n.4, pp. 775-780. ISSN 0006-8705. Ano 2011.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 Ed. EMBRAPA, Rio de Janeiro, 1997.

_____. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Fertilidade de solos e nutrição em soja**. Circular técnica n.50, Embrapa Soja, Londrina – PR, 2007.

EVANGELISTA, Fábio Sidonio de Barros. SILVA, Izabel Cristina Rodrigues da. **Fontes de contaminação pelo Chumbo (Pb)**. 8ª Mostra de produção científica da pós-graduação lato sensu da PUC Goiás, v. 1, p. 1426, 2013.

FERNANDES, Raphael Bragança Alves; LUZ, Walcrislei Vercelli; FONTES, Maurício Paulo Ferreira; FONTES, Luiz Eduardo Ferreira. **Avaliação da concentração de metais pesados em áreas olerícolas no Estado de Minas Gerais**. Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 81-93, 2007.

FERREIRA, Manoel Evaristo; CRUZ, Mara Cristina Pessôa da; RAIJ, Bernardo van; ABREU, Cleide Aparecida de; **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**, CNPq, FAPESP, Potafos: Jaboticabal, 2001.

FRANCESCHET, Meire. **Estudo da permeabilidade de solos de aterros sanitários do estado de santa Catarina: estudo de caso aplicado a Timbó, Chapecó e Curitibanos**. Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

FREITAS, João Carlos Dias de. **Identificação de assinaturas químicas em resíduos de disparos de arma de fogo em diferentes alvos**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energeticas e Nucleares (IPEN) – USP, 62p. 2010.

GARCÍA, Perla Esmeralda Pérez; CRUZ, María Isabel Azcona. **Los efectos del cadmio em La salud**. Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas [1665-7330] vol:17 iss:3 pg:199, yr:2012

GEORG, Juli; KELNER, Lenice; SILVINO JÚNIOR, João Bosco. **Armas de fogo: aspectos técnicos periciais**. Revista Jurídica – CCJ ISSN 1982-4858 v. 15, nº. 30, p. 137 - 156, ago./dez2011.

GIRALDI, Nelson. **Tiro Defensivo na Preservação da Vida**. São Paulo. 2003 (Manual); Estatuto do Desarmamento. Ed. Online. São Paulo. 2006

GONÇALVES Jr, Affonso Celso. **Descontaminação e monitoramento de águas e solos na região amazônica utilizando materiais adsorventes alternativos, visando a remoção de metais pesados tóxicos e pesticidas**. Inc. Soc., Brasília, DF, v. 6 n. 2, p.105-113, jan./jun. 2013

GRANDAHN, Kasper; SUADICANI, Poul; JACOBSEN, Peter. **Individual and environmental risk factors for high blood lead concentrations in Danish indoor shooters**. Danish medical journal [2245-1919] Grandahl, K, vol:59 fasc:8,

ano:2012.

GRÜN, Mauro. **Ética e educação ambiental: a conexão necessária**. 2.ed. Campinas – SP: Ed. Papirus, 2000.

HARDISON JR, Donald William; MA, Lena Qiying; LUONGO, Thomas; HARRIS, Willie G. **Lead contamination in shooting range soils from abrasion of lead bullets and subsequent weathering**. Soil and Water Science Department, University of Florida, P.O. Box 110290, Gainesville , FL 32611-0290, USA 2003.

HOEHNE, Lucélia; STÜLP, Simone; ETHUR, Eduardo Miranda; RIBEIRO, Rosecler; CARLESSO, Wagner Manica. **Transformação do resíduo domiciliar em fertilizantes orgânicos por meio da compostagem e vermicompostagem** Radar, Lajeado - RS, 01 mar. 2012.

IAP - Instituto Ambiental do Paraná, Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Amostragem do solo - Contaminação**. On-line. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=333> Acesso em: 26 fev. 14.

JAKUBOWSKI, Marek. **Low-level environmental lead exposure and intellectual impairment in children — The current concepts of risk assessment**. International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health [1232-1087] Jakubowski, Marekvol:24 fasc:1 pág:1 -7, ano:2011.

JEZLER, Caroline Nery. **Efeitos da contaminação do solo com chumbo e cádmio no crescimento, óleo essencial e ultraestrutura de menthaarvensis I. (Lamiaceae)**. Dissertação Mestrado Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Estadual de Santa Cruz-BA, Ilhéus, 2012.

KANMANI, Subramaniam; GANDHIMATHI, Rajan. **Assessment of heavy metal contamination in soil due to leachate migration from an open dumping site**. Applied Water Science, Volume 3, Issue 1, pp 193-205, March 2013.

KIRKBY, Ernest Arnold; RÖMHELD, Volker. **Micronutrientes na fisiologia de plantas - funções, absorção e mobilidade**. Versão em português do boletim Micronutrients in plant physiology: functions, uptake and mobility, de E. A. Kirkby e V. Römheld, Proceedings 543, The International Fertiliser Society, P. O. Box 4, York, YO32 5YS, Reino Unido. Encarte técnico Informações Agrônomicas nº 118 – Junho/2007

KLEIN, Vilson Antônio. **Física do solo**. Passo Fundo: Ed. UPF, 2008. 212p.

KONRAD, Odorico; CALDERAN, Thanabi Bellenzier. **A preservação ambiental na visão da política nacional dos resíduos sólidos**. Âmbito Jurídico, v., p. ., 2011.

KOOTBODIEN, Tahira; MATHEE, Angela; NAICKER, Nisha; and MOODLEY, Nishila. **Heavy metal contamination in a school vegetable garden in Johannesburg**. SAMJ, S. Afr. med. j.[online]. vol.102, n.4, pp. 226-227. ISSN 0256-9574, 2012.

LACORTE, Livia Maria. **Exposição crônica ao cádmio e/ou à cafeína: alterações estruturais, ultraestruturais e bioquímicas na próstata do rato / Livia Maria Lacorte**. –Botucatu: [s.n.], Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu, 2012.

LAFOND, Stephanie; BLAIS, Jean - Francois; MARTEL, Richard; MERCIER, Guy. **Chemical leaching of antimony and other metals from small arms shooting range soil**. Water, air and soil pollution [0049-6979] Lafond, Stephanie vol:224 fasc:1, ano:2013.

LUIZ, Ronilson de Souza. **Ensino policial militar**. Tese (doutorado) –Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo, p. 139, 2008.

MACHADO, Maria Elisabete; MENEZES, Jean Carlo Salomé dos Santos; COSTA, João Felipe C. L; SCHNEIDER, Ivo André Homrich. **Análise e avaliação da distribuição de metais pesados em um antigo aterro de resíduos sólidos urbanos "Aterro Invernadinha"**. Evidência, Joaçaba, v. 1, n. 2, p. 69-82, 2011.

MACHADO, Sandro Lemos; RIBEIRO, Laelson Dourado; KIPERSTOK, Asher; BOTELHO, Marco Antônio Barsotelli; CARVALHO, Miriam de Fátima. **Diagnóstico da Contaminação por Metais Pesados em Santo Amaro - Bahia**. In: Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 9 – n. 2, , p.140-155, abr-jun 2004.

MAGRO, Clinei Dal. **Remoção de cromo VI e DQO de meio de cultivo adicionado de efluente com elevada concentração de cromo a partir da microalga Spirulinaplantensis**. 87f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso em Bacharelado em Engenharia Ambiental), Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo. 2010.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 2**, de 9 de outubro de 2008.

MARCHI, William Ricardo de Almeida. **A segurança pública como direito fundamental e a reorganização da Polícia Civil paulista**. Osasco, Dissertação Curso de Pós Graduação Stricto Sensu em Direito, do Centro Universitário FIEO-

UNIFIEO, 2010.

MARIUSSEN, Espen; LJØNES, Marita; STRØMSENG, ArnljotEinride. **Use of sorbents for purification of lead, copper and antimony in runoff water from small arms shooting ranges.** Journal of hazardous materials [0304-3894] Mariussen, Espen:243 pág:95 -104, ano:2012.

MARTINY, Andrea; PINTO, André Luiz. **Aplicação da Microscopia Electronica de Varredura à Análise de Resíduos de Tiro**, C & T, 2005 – 2008.

MAVROPOULOS, Elena. **A hidroxiapatita como absorvedor de metais.** [Mestrado] Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública; 105 p., 1999.

MAZZUCO, Kátia Teresinha Mateus. **Uso da *Canavaliaensiformis* como fitorremediador de solos contaminados por chumbo.** Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina Florianópolis, 2008.

MEDEIROS, Fernanda Luiza Fontoura de. **Meio Ambiente: direito e dever fundamental.** Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2004, p. 131.

MIRANDA, Ary Carvalho de; TAMBELLINI, Anamaria Testa; MOREIRA, Josino Costa. **As relações entre o modelo de desenvolvimento e os impactos sobre o ambiente e a saúde humana: uma revisão do cenário atual.** Cad. saúde colet., (Rio J.);19(3), jul. 2011.

MOREIRA, Fátima Ramos; MOREIRA, Josino Costa. **Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde.** Rev Panam Salud Publica;15(2):119–29, 2004a

_____; MOREIRA, Josino Costa. **A importância da análise de especiação do chumbo em plasma para a avaliação dos riscos à saúde.** Química Nova, Vol. 27, No. 2, 251-260, 2004b

MOTTA, Eduardo Jorge de Oliveira Motta; GONÇALVES, Ney E. Wanderley. **Plano Nascente: plano de preservação e recuperação de nascentes da bacia do rio São Francisco.** Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba - Codevasf / Editora IABS, Brasília-DF, Brasil - 2015.

MUGFORD, Rebecca; COREY, Shevaun; BENNELL, Craig. **Improving police training from a cognitive load perspective.** Policing: An International Journal of Police Strategies & Management [1363-951X] Mugford, R, vol:36 fasc:2 pág:312 -

337, ano:2013.

OLIVEIRA, Letícia Raquel de. **Remoção de alumínio em sistema contínuo por adsorção em coluna de leito fixo com carvão ativado**. 122 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

ORTEGA, Maria del CARMEN Barbera; CECAGNO, Diana; LLOR, Ana Myriam Seva; SIQUEIRA, Hedi Crecencia Heckler de; MONTESINOS, Maria José López; SOLER, Loreto Maciá. **Formação acadêmica do profissional de enfermagem e sua adequação às atividades de trabalho**. Revista Latino-Americana de Enfermagem, vol. 23, núm. 3, mayo-junio, 2015, pp. 404- 410 Universidade de São Paulo São Paulo, Brasil.

PAOLIELLO, Monica Maria Bastos; CHASIN, Alice Aparecida da Matta. **Ecotoxicologia do chumbo e seus compostos**. v. 3 Salvador: Centro de Recursos Ambientais, (Série Cadernos de Referência Ambiental), 2001.

PARANÁ. Lei 16.575 de 28 de setembro de 2010. Diário Oficial do Paraná nº 8.314, Curitiba, PR, 29 set 2010. Disponível em <http://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/listarAtosAno.do?action=exibir&codAto=56275&codItemAto=436679>. Acessado em fev 2014.

PARSA, H.G.; LORD, Kenneth R.; PUTREVU, Sanjay; KREEGER, Jeff. **Corporate social and environmental responsibility in services: Will consumers pay for it?** Journal of retailing and consumer services [0969-6989] Parsa, H G ano: 2014.

PASSOS, Gleise da Rocha. **“Segurança pública não é só polícia!”: demandas por segurança, participação social e atuação do policiamento comunitário na cidade de Aracaju**. Tese Doutorado Universidade Federal da Bahia. 236p., 2011.

PASSOS, Priscilla Nogueira Calmon de. **A conferência de Estocolmo como ponto de partida para a proteção internacional do meio ambiente**. Revista Direitos Fundamentais e democracia. Vol. 6 (2009)

PAVAN, Marcos Antonio; BLOCH, Maria de Fátima M; ZEMPULSKI, Haydee da Costa; MIYAZAWA, Mario; ZOCOLER, Décio Carlos. **Manual de análises químicas de solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 40 p. (Circular técnica 76). Ano1992.

PEDDICORD, Richard K; LAKIND Judy S. **Ecological and human health risks at an outdoor firing range**. Environmental. Toxicology & Chemistry.,Vol. 19, nº.10. pp. 2602-2613 (1, INT) (2000).

PELOZATO, Michelle; HUGEN, Camila; CAMPOS, Mari Lucia; ALMEIDA, Jaime Antonio de; SILVEIRA, Cristian Berto da; MIQUELLUTI, David José; SOUZA, Maurício César de. **Comparação entre métodos de extração de cádmio, cobre e zinco de solos catarinenses derivados de basalto e granito-migmatito**. Revista de Ciências Agroveterinárias, v.10, p.54-61, 2011.

PEREIRA, Simone de Fátima; LIMA, Maurício Araújo de; FREITAS, K'EllenHeloizy; MESCOUTO, Cleide Samara; SARAIVA, Augusto Fonseca. **Estudo químico ambiental do rio Murucupi – Barcarena, PA, Brasil, área impactada pela produção de alumínio**. Ambi-Agua, Taubaté, v. 2, n. 3, p. 62-82, 2007.

PERES, Frederico; MOREIRA, Josino Costa; orgs. **É veneno ou é remédio?: agrotóxicos, saúde e ambiente** [online]. 384 p. ISBN 85-7541-031-8, Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2003.

PERSSON, Eduardo Moreno. **Embasamento legal do uso da força pelo policial militar**. Revista Jus Navigandi, Teresina, ano 16, n. 3021, 9out.2011. Disponível em: <<https://jus.com.br/artigos/20084>>. Acesso em: 16 jan. 2016.

PIERANGELI, Maria Aparecida Pereira; GUILHERME, Luiz Roberto Guimarães; CURI, Nilton; SILVA, Marx Leandro Naves; OLIVEIRA, Leyser Rodrigues; LIMA, José Maria de. **Efeito do pH na adsorção-dessorção de chumbo em latossolos brasileiros**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, pp. 269-277, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Brasil, vol. 25, núm. 2, 2001,

PINC, Tânia Maria. **Treinamento Policial: um meio de difusão de políticas públicas que incide na conduta individual do policial de rua**. Tese apresentada ao Departamento de Ciência Política da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PIZZAIA, Daniel. **Genotoxicidade do cádmio em tomateiro (Solanum lycopersicum L.)**. Versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. 97p:il. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2013.

RAURET, Gemma. **Extraction procedures for the determination of heavy metals in contaminated soil and sediment**. Talanta, Amsterdam, v. 46, n. 3, p.449-455, 1998.

RIO DE JANEIRO, Vice-Governadoria. **Cidade da polícia inova com estande de tiros ecológico**. Disponível em: <http://www.rj.gov.br/web/vgovest/exibeconteudo?article-id=1425534>. Acessado em 15 dez. 2013.

ROCHA, Abelardo Julio da. **As Polícias Militares e a Preservação da Ordem Pública.** Jusmilitares. 2009. Disponível em <http://www.jusmilitaris.com.br/novo/uploads/docs/pmpreservacao.pdf>. Acessado em 10 jul. 2014.

ROHDE, Geraldo Mario. **Geoquímica ambiental e estudos de impacto.** 3. ed. São Paulo: Signus, 184 p, 2008.

ROMAO, Wanderson; SCHWAB, Nicolas Vilczaki; BUENO, Maria Izabel Maretti Silveira; SPARRAPAN, Regina; EBERLIN, Marcos Nogueira; MARTINY, Andrea; SABINO, Bruno Duarte; MALDANER, Adriano Otávio. **Química forense: perspectivas sobre novos métodos analíticos aplicados à documentos cópia, balística e drogas de abuso.** Quím. Nova [online], vol.34, n.10, pp. 1717-1728. Ano 2011.

ROSALINO, Melanie Roselyne Rodrigues. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano.** Novembro 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente, Perfil Sanitária) - Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2011.

ROSOLEM, Ciro Antonio; TOZI, Thiago de Souza; GARCIA, Rodrigo Arroyo. **Amostragem de terra para fins de fertilidade em função da ferramenta de amostragem.** Revista Ceres, Viçosa, v. 57, n. 3, p. 405-414, ano 2010.

ŠAJN, Robert; ALIU, Milihate; STAFILOV, Trajče; ALIJAGIĆ, Jasminka. **Heavy metal contamination of topsoil around a lead and zinc smelter in Kosovska Mitrovica/Mitrovicë, Kosovo/Kosovë.** Journalofgeochemicalexploration [0375-6742] Šajn, R vol:134 pg:1 -16, yr:2013.

SALLES, Maiara Oliveira. **Desenvolvimento de sensor eletroquímico para monitoramento de chumbo em resíduos de disparo de arma de fogo.** 136p. Tese de Doutorado – Programa de Pós-graduação em Ciências (Química). Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SANTOS, Francisca Fabiana dos. **Vigilância sanitária: medidas de biossegurança no manuseio de munições e arma de fogo.** Monografia submetida à Escola de Saúde Pública do Ceará, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Especialista em Vigilância Sanitária. Fortaleza, 2006.

SCHIFER, Tiago dos Santos; BOGUSZ, Stanislaw; MONTANO, Marco Aurélio Echart. **Aspectos Toxicológicos do Chumbo.** Pharmacia Brasileira, v. 17, p. 67-72, 2004.

SHUQAIR, Shuqair Mahmud Said. **Estudo da contaminação do solo e água subterrânea por elementos tóxicos originados dos rejeitos das minas de carvão de Figueira no estado do Paraná.** 125p. Tese Doutorado, São Paulo: USP, 2002.

SILVA, Cassio Roberto da. **Avaliação do risco geológico à exposição de elementos químicos à saúde ambiental, na região de Araçuaí-Itinga, Minas Gerais – Brasil.**- Rio de Janeiro. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, 2011.

SILVA, Solange Teles da. **A ONU e a proteção do meio ambiente.** In: MERCADANTE, Araminta; MAGALHÃES, José Carlos de (orgs.). Reflexões sobre os 60 anos da ONU. p. 441-468. Ijuí: Unijuí, 2005.

SILVA, Tatiana Kazue. **Ação citoprotetora do óxido nítrico na germinação de arroz (*Oryza sativa* L.) e soja (*Glycinemax* (L.)Merril) submetidas a estresse de alumínio.** 2007. 53 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu, 2007.

SKORUPA, Alba Lucia Araujo. **Distribuição espacial de chumbo, zinco e propriedades de solos sob vegetação nativa em Minas Gerais.** Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras – Lavras, 187p. UFLA, 2013.

SOARES, Marcio Roberto. **Coefficiente de distribuição (*K_d*) de metais pesados e sua relação com atributos físico-químicos de solos do estado de São Paulo.** Piracicaba, Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz. 202p., 2004.

SOARES, Paulo Sergio Moreira; YOKOYAMA, Lidia; FREIRE, Denize Dias de Carvalho. **Transporte de metais pesados no solo no contexto da disposição de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 45 p. (Série Tecnologia Ambiental, 33), ano 2005.

SOUZA, Valmir de. **O planejamento da segurança pública na fronteira da região do Lago de Itaipu: uma análise da ação conjunta de agricultores de Guaíra-PR na formação da Patrulha Rural da Polícia Militar: a efetivação do policiamento comunitário / Valmir de Souza.** – Toledo, PR :160 f. [s. n.], 2006.

STRUCKHOFF, Matthew A.; STROH, Esther D.; GRABNER, Keith W. **Effects of mining-associated lead and zinc soil contamination on native floristic quality.** Journal of environmental management [0301-4797] Struckhoff, MA, vol:119 pág:20 - 28, ano:2013.

TAURUS. **Informativo técnico nº 43 – munições para armas curtas**. Disponível em: <http://www.cbc.com.br/upload/informativos/6.pdf>. Acessado em 23 mar 2014.

TEDESCO, Marino Jose; GIANELLO, Clesio; DRESCHER, Marcelo; BISSIANI, Carlos Alberto; BOHNEN, Humberto; VOLKWEISS, Sergio Jorje. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. Ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim temático, 5).

TOSINI, Maria de Fátima Cavalcante. **Risco ambiental para as instituições financeiras**. Annablume, São Paulo, 2006.

TRIMPE, Michael. **The current status of GSR examinations.(gunshot residue examinations)**. FBI law enforcement bulletin [0014-5688] Trimpe, Michael,vol:80 fasc:5 pág:24, ano:2011.

TRINDADE, Wallace Magalhães; HORN, Adolf Heinrich; RIBEIRO, Elizêne Veloso. **Concentrações de metais pesados em sedimentos do rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora-MG: geoquímica e classificação de risco ambiental**. Geonomos, 20(1), 64-75, 2012.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Metais pesados: o principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos**. In.: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20, 1999b. p.753-761. Rio de Janeiro, RJ. Anais. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

VAN DYCK, Eddy. **The contaminated sites policy in Flanders (Belgium)**. In: CONTAMINATED SOIL'95, Maastricht, 1995. Proceedings. Dordrecht, The Research Center Karlsruhe (FZK), Netherlands Organization for Applied Scientific Research TNO, v. 1, p. 39-48, 1995.

VAN GEEN, Alexander; BRAVO, Carolina; GIL, Vladimir; SHERPA, Shaky; JACK, Darby. **Lead exposure from soil in Peruvian mining towns: a national assessment supported by two contrasting examples**. *Bull World Health Organ* [online]. vol.90, n.12, pp. 878-886. ISSN 0042-9686, ano 2012.

VIANNA, Regina Cecere; VIANNA JUNIOR, Claudio Cecere; VIANNA, Rafael Marques. **Os recursos de água doce no mundo – situação, normatização e perspectiva**. In: Âmbito Jurídico, Rio Grande, VIII, n. 23, out 2005.

VIERA, Claudia Brasil; MOREIRA, Silvana. **Estudo da absorção de metais em cultura de milho irrigado com efluente de esgoto doméstico empregado na reflexão total com radiação síctron (SR-TXRF)**. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 2004.

VITORINO, Antonio Carlos Tadeu. FERREIRA, Mozart Martins; CURI, Nilton; LIMA, José Maria de; SILVA; MOTT, Paulo Emílio Ferreira. **Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho de silte de solos da Região Sudeste do Brasil**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 38, n. 1, p. 133-141, 2003.

WAINER, Ann Helen. **Legislação Ambiental Brasileira: subsídios para a história do direito ambiental**. 2.ed. Rio de Janeiro: Revista Forense, 1999.

WELZ, B.; SPERLING, M. **Atomic Absorption Spectrometry**. 2 ed. Weinheim: Wiley-VCH, 941 p, ano1999.

YIN, Xianqiang; SAHA, Uttam K.; MA, Lena Qiying. **Effectiveness of best management practices in reducing Pb-bullet weathering in a shooting range in Florida**. Journal of hazardous materials [0304-3894] vol:179 fasc:1-3 pág:895 -900, ano:2010.