



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**



## **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**CONTROLE LITO-ESTRUTURAL E ESTRATIGRÁFICO NA HIDROGEOQUÍMICA  
E NAS CONCENTRAÇÕES DE FLUORETO NO SISTEMA AQUÍFERO CÁRSTICO-  
FISSURAL DO GRUPO BAMBUÍ, NORTE DE MINAS GERAIS**

**AUTORA:** Dora Atman Costa

**ORIENTAÇÃO:** Leila Nunes Menegasse Velásquez

Lúcia Maria Fantinel

**BELO HORIZONTE**

**DATA:** 01/04/2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

**CONTROLE LITO-ESTRUTURAL E ESTRATIGRÁFICO NA HIDROGEOQUÍMICA  
E NAS CONCENTRAÇÕES DE FLUORETO NO SISTEMA AQUÍFERO CÁRSTICO-  
FISSURAL DO GRUPO BAMBUÍ, NORTE DE MINAS GERAIS**

**Dissertação de mestrado**

**Autora:** Dora Atman Costa

**Área:** *Geologia Econômica e Aplicada*

**Orientadora:** Leila Nunes Menegasse Velásquez

**Co-orientadora:** Lúcia Maria Fantinel

*Aos meus pais,  
Jorge e Tânia Costa*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela *Esperança*, fonte e força da vida, e pela oportunidade de realizar esse trabalho com pessoas maravilhosas que marcaram a minha caminhada.

Agradeço as minhas orientadoras Leila Nunes Menegasse Velásquez e Lúcia Maria Fantinel, pelo tempo compartilhado, pelos ensinamentos, dedicação, amizade e pelo exemplo de vida! É um privilégio ter a companhia de vocês.

Aos meus pais pelo infundável apoio e carinho e aos meus irmãos por alegrarem meus dias, meus eternos amigos!

Ao querido Daniel Galvão Carnier Fragoso, por compartilhar a vida, cuidar de mim e enfrentar os desafios comigo.

Agradeço a preciosa companhia e as virtudes ensinadas por minhas amigas no início da jornada no norte de Minas: Adriana Miranda Freitas e Cristiany Pereira.

Aos grandes amigos: Humberto Luís Siqueira Reis, Matheus Henrique Kuchenbecker do Amaral, Mônica de Cássia Oliveira Mendes e Tatiana Gonçalves Dias. Obrigada pelas discussões, apoio e divertida companhia.

Ao geólogo Paulo César Horta Rodrigues pela amizade, ensinamentos e suporte em geoprocessamento.

Agradeço a Luisa Barroso Gomes e Jorge Freitas M. G. de Carvalho pelo auxílio nos trabalhos de campo, pela alegre amizade e por toda dedicação.

Ao IGC/UFMG e aos mestres, especialmente aos professores que desde o início me acolheram: Luiz Guilherme Knauer e Ricardo Diniz da Costa. Obrigada pela amizade sincera, paciência, discussões e ensinamentos ao longo do curso.

Agradeço ao IGAM, especialmente a Maricene Paixão, pelo apoio e parceria. Ao Geraldo João Araújo, pela companhia divertida e pelo cuidado em dirigir nas difíceis estradas de Minas!

Ao CPMTC/IGC, Wenceslau e Fernando pela confecção das lâminas.

Aos moradores de Verdelândia, Jaíba e Varzelândia que nos receberam e contribuíram com essa pesquisa.

*“Trinta raios compõem uma roda;  
E se adaptam a “nada” no centro:  
Nisso jaz a utilidade de uma carruagem.  
A argila é moldada para fazer um vaso;  
e o barro se amolda em torno de “nada”:  
Assim é que, se é vantajoso ter algo ali  
também deve ser útil “nada” ter ali.”*

*Tao Te Ching*

*Que possamos olhar os vazios da vida com o olhar da Esperança e ter coragem de caminhar em direção  
ao “nada” como quem escuta um chamado.*

## SUMÁRIO

### **PARTE I - INTRODUÇÃO**

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	02
1.1 Localização e acesso.....	04
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	06
2.1 Contexto geológico e geotectônico.....	06
2.2 O Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no norte de Minas Gerais.....	07
2.2.1. <i>O Grupo Bambuí</i> .....	08
2.2.2. <i>O Grupo Urucuia</i> .....	12
2.2.3 <i>Coberturas cenozóicas</i> .....	13
2.3 Sistemas aquíferos e concentrações de fluoreto na região de Jaíba, Verdelândia e Varzelândia.....	14
2.3.1 <i>Sistema aquífero cárstico-fissural do Grupo Bambuí</i> .....	14
2.3.2 <i>Sistema aquífero granular</i> .....	18
2.3.3. <i>Concentrações de fluoreto nas águas subterrâneas no norte de Minas Gerais</i> .....	19
2.4 Geoquímica do flúor e casos de contaminação por fluoreto.....	21
2.4.1 <i>Características do flúor e distribuição na crosta</i> .....	21
2.4.2 <i>Dinâmica do flúor</i> .....	22
2.4.3 <i>Casos de concentrações de fluoreto elevadas em águas subterrâneas</i> .....	25

### **PARTE II – CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E METODOLOGIA**

<b>3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVOS</b> .....	36
3.1 Objetivos.....	39
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	40
4.1 Mapeamento geológico e caracterização das unidades geológicas.....	40
4.2 Determinação das fontes de flúor nas rochas.....	45
4.3 Definição das unidades hidrogeológicas e da dinâmica das águas.....	46
4.4 Investigação do controle estrutural no fluxo e na composição química das águas, com ênfase nas concentrações de fluoreto.....	48
4.5 Estudo hidroquímico e das concentrações do flúor nas águas subterrâneas.....	49

### **PARTE III - RESULTADOS**

<b>5 MAPEAMENTO GEOLÓGICO, ESTUDO DE FÁCIES E ESTRATIGRAFIA DO GRUPO BAMBUÍ ENTRE AS SERRAS DO SABONETAL E JAÍBA</b> .....	51
--	----

5.1	Mapeamento geológico da região de Verdelândia, Varzelândia e Jaíba.....	52
5.2	Descrição das unidades do Grupo Bambuí com base no modelo de fácies.....	57
5.3	Evolução Sedimentar.....	72
<b>6</b>	<b>OCORRÊNCIAS DE FLUORITA, COMPOSIÇÃO DAS ROCHAS E TEORES DE FLÚOR NO GRUPO BAMBUÍ.....</b>	<b>74</b>
6.1	Ocorrências de fluorita.....	74
6.2	Composição das rochas e teores de flúor.....	76
6.2.1	<i>Formação Lagoa do Jacaré.....</i>	<i>77</i>
6.2.2	<i>Formação Serra da Saudade.....</i>	<i>79</i>
6.2.3	<i>Formação Três Marias.....</i>	<i>80</i>
<b>7</b>	<b>MODELO HIDROGEOLÓGICO E CONTROLE ESTRUTURAL NA CIRCULAÇÃO DAS ÁGUAS E NAS CONCENTRAÇÕES DE FLUORETO NO SISTEMA AQUÍFERO CÁRSTICO-FISSURAL DO GRUPO BAMBUÍ.....</b>	<b>85</b>
7.1	Sistemas e unidades hidrogeológicas.....	85
7.2	Análises de fraturas, feições cársticas e lineamentos.....	94
7.3	Estudo de lineamentos e parâmetros hidrogeológicos.....	96
7.3.1	<i>Comparação entre vazão, condutividade elétrica, cloreto, unidades de trítio e fluoreto entre poços associados a lineamentos e poços não associados....</i>	<i>96</i>
7.3.2	<i>Controle estrutural na composição das águas e na produtividade dos poços associados a lineamentos.....</i>	<i>101</i>
7.4	Modelo hidrogeológico e de circulação das águas no Sistema Aquífero Cársticofissural do Grupo Bambuí.....	105
<b>8</b>	<b>ESTUDO HIDROGEOQUÍMICO COMO SUBSÍDIO PARA A CONSOLIDAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO E DE CONCENTRAÇÃO DE FLUORETO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS .....</b>	<b>111</b>
8.1	Zoneamento hidrogeoquímico.....	111
8.2	Conclusões sobre o flúor nas águas do Sistema Aquífero Cárstico-fissural do Grupo Bambuí.....	125
<b><u>PARTE IV – CONCLUSÕES E SUGESTÕES</u></b>		
<b>9</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....</b>	<b>128</b>
<b>10</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>131</b>
	<b>ANEXO I – Tabela de pontos</b>	
	<b>ANEXO II - Mapa de pontos</b>	
	<b>ANEXO III – Mapa geológico</b>	
	<b>ANEXO IV- Resultados das análises mineralógicas e petrografia microscópica</b>	
	<b>ANEXO V - Mapa de lineamentos</b>	
	<b>ANEXO VI – Mapa de localização dos poços</b>	
	<b>ANEXO VII – Características dos poços e dados hidroquímicos</b>	
	<b>ANEXO VIII – Inventário de poços tubulares</b>	
	<b>ANEXO IX – Mapa hidrogeológico</b>	